Praktična

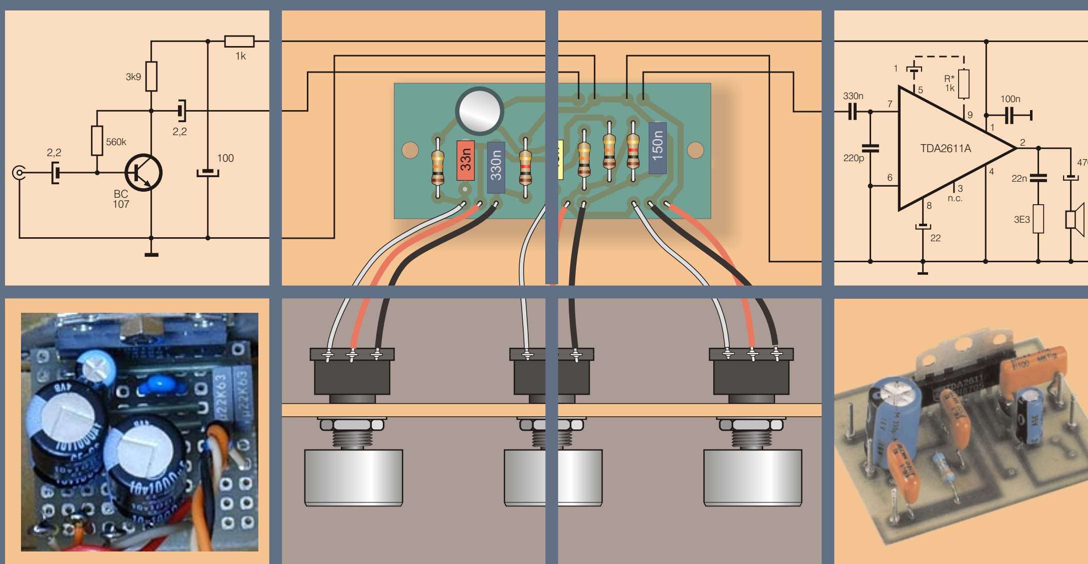
ELEKTRONIKA 4

FIL.M.2016

Filipović D. Miomir

AUDIO-POJAČAVAČI

za ozvučavanja, mobilne telefone, MP3 plejere, vokmene, CD plejere, radio-prijemnike, kasetofone i sve slične uređaje kod kojih treba ostvariti glasnu reprodukciju preko zvučnika



Karakteristike zvuka i audio-pojačavača, blok šeme, električne šeme i štampana kola pretpojačavača, mikseta, kola za regulaciju jačine i boje tona, pojačavača snage, ispravljači za audio-pojačavače, primeri praktične realizacije, povezivanje zvučnika, provera, puštanje u rad, dodaci . . .

PREDGOVOR

Ova knjiga je namenjena svima koji žele da sami, svojim rukama, naprave audio-pojačavač. Imajući u vidu staru amatersku izreku da "nijedan pojačavač ne svira tako dobro kao onaj koji ste sami napravili", autor se nada da će čitaoci ljubitelji audiotehnike podjednako uživati u čitanju ove knjige, u izradi nekog od opisanih uređaja i, na kraju ali mnogo, mnogo duže, u slušanju omiljene muzike, a oni preduzimljiviji i u materijalnoj koristi koju mogu da ostvare na osnovu znanja stečenog pažljivim čitanjem.

Na početnoj strani kliknite na EWB SIMULACIJE pa na EWB SIMULACIJE-PRIMERI.

SADRŽAJ

Kada u sadržaju pronađete šta vas interesuje, kliknite na ikonicu Pages, pa na ikonicu stranice.



1.

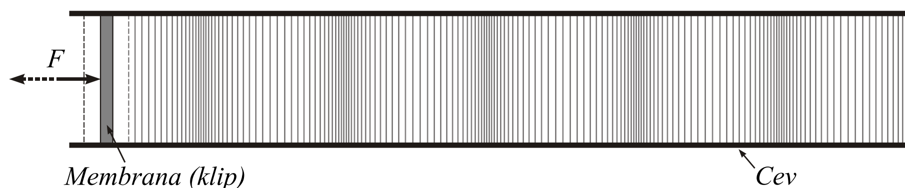
OSNOVE AKUSTIKE

Zvuk je jedna od prirodnih pojava koje ljude prate kroz ceo život, tako da se oni vremenom toliko naviknu na njega da im se čini da je to nešto sasvim jednostavno i samo po sebi razumljivo. Ali, to uopšte nije tačno. Na primer, većina ljudi jasno razlikuje tonove koje stvaraju dva različita instrumenta kada se na njima odsvira ista nota, ali je vrlo malo onih koji znaju u čemu je ta razlika. Zato, da bi se pri konstrukciji i realizaciji audio-pojačavača znalo šta treba raditi da bi se ostvario uređaj potrebnih karakteristika, neophodno je poznavati osnovne karakteristike audio-pojačavača ali i osnovne osobine zvuka i čovekovog čula sluha.

1.1. Nastajanje zvuka

Zvuk nastaje mehaničkim oscilovanjem čvrstih tela (žice muzičkih instrumenata, glasne žice u grlu čoveka, membrana zvučnika, pokretni delovi raznih mašina itd.), gasova (duvački muzički instrumenti i sl.) i tečnosti. Kada je učestanost uređaja koji stvara zvuk u opsegu od oko 16 Hz do 20 kHz, talasi koji se vazduhom prenose do čovekovog uha izazivaju osećaj o postojanju zvuka. Ako je učestanost manja od 16 Hz, čovek nije u stanju da čuje zvuk, mada on, fizički posmatrano, postoji. To je *infra zvuk*. Isto je i sa zvucima čija je učestanost veća od 20 kHz, ni njih čovek ne može da čuje. Oni se nazivaju *ultra zvuk* i primenjuju se u industriji, medicini itd.

Osnovne karakteristike zvuka ćemo upoznati na modelu koji je prikazan na slici 1.1. Na jednom kraju okrugle cevi se nalazi klip, odnosno klipna membrana koja se pod dejstvom mehaničke sile *F* pomera levo-desno, odnosno osciluje. Krajnji levi i desni položaji membrane prikazani su isprekidanim linijama. Kada se membrana kreće udesno, nastaje sabijanje i zgušnjavanje čestica vazduha ispred membrane pa pritisak vazduha u ovoj oblasti raste. Zbog toga se čestice iz ove oblasti pomeraju udesno ka susednoj oblasti, pa se pritisak u sloju ispred klipa smanjuje, a u susednom sloju se povišava. Zatim se čestice iz ovog sloja



Slika 1.1. Nastajanje zvuka

pomeraju u sledeći sloj, pa se pritisak u njemu povišava, a u prethodnom sloju smanjuje itd. Na taj način, prenoseći se sa sloja na sloj, povišenje pritiska se pomera ka desnom kraju cevi i, posle izvesnog vremena, se pojavljuje na njenom izlazu. Kada se membrana pomera ulevo, pritisak ispred njene desne površine se smanjuje, jer se gas razređuje. Čestice iz susednog sloja pomeraju se ka ovoj oblasti razređenja i pritisak ispred desne strane membrane se vraća na svoju prvobitnu vrednost, a pritisak u sloju iz koga dolaze čestice se snižava. Na isti način kao i povišavanje, i snižavanje pritiska se, sa sloja na sloj, prenosi udesno i, posle izvesnog vremena, pojavljuje se na izlazu cevi.

Kada se klip neprekidno kreće levo-desno, tj. kada osciluje, veličina pritiska na izlazu cevi se neprekidno menja. Kada se stavi uho na izlaz cevi, promenljivi pritisak vazduha pomera bubnu opnu u uhu i čovek tu pojavu konstatuje kao zvuk. Naravno njemu to uspeva samo ako je učestanost oscilovanja u već pomenutim granicama od 16 Hz do 20 kHz.

Promena pritiska koju stvara izvor zvuka prostire se na sličan način na koji se prostiru talasi na površini vode, pa odatle i potiče izraz *zvučni talas*.

U primeru na slici 1.1 važno je zapaziti da se gas u cevi ne kreće stalno u jednom smeru, već da čestice samo osciluju levo-desno oko svog ravnotežnog položaja. Kroz cev se ne prostire materija već pojava. Kada membrana krene udesno, to nikako ne znači da sav gas u cevi u istom trenutku krene udesno. Najpre se pomera sloj vazduha uz površinu membrane, zatim susedni sloj, pa sledeći itd. Brzina zvuka je brzina kojom se prostiru zgušnjenja odnosno razređenja vazduha. Kroz vazduh pri normalnom atmosferskom pritisku i na temperaturi od dvadest stepeni Celzijusa, brzina zvuka je c=343 m/s.

Broj oscilacija koje membrana na slici 1.1 napravi u jednoj sekundi, a tom broju je jednak i broj zgušnjenja odnosno razređenja vazduha u jednoj sekundi, se naziva učestanost ili frekvencija i obeležava se slovom f. Vreme za koje se obavi jedna kompletna oscilacija klipa naziva se perioda zvuka i obeležava se slovom T. Veza između periode i učestanosti je data formulom:

$$T=1/f.$$

Rastojanje koje zvuk pređe za vreme jednako jednoj periodi naziva se talasna dužina, i obeležava se slovom . Brzina zvuka c, talasna dužina   i učestanost f međusobno su povezani formulom:

$$c=\ \cdot f.$$

Gornja formula omogućava da se kada je poznato   izračuna f i obrnuto. Na primer ako zvuk ima učestanost 800 Hz, njegova talasna dužina je:

$=c/f=343(m/s)/800(1/s)=0{,}43$ m.

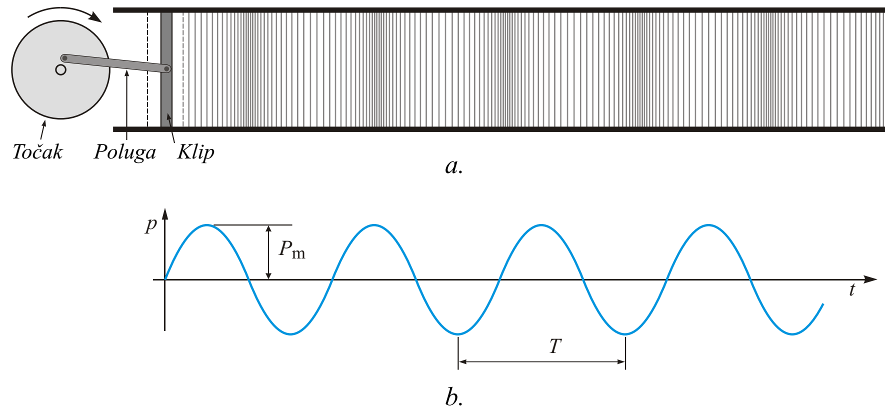
Ako od trenutka kada vidite munju do trenutka kada čujete grmljavinu prođe 5 sekundi, grom je udario na udaljenosti:

$l=v\cdot t=343m/s\cdot 5s=1715$ m.



1.2. Prost i složen zvuk

Zvuk čije se karakteristične veličine (pritisak, brzina čestica pri oscilovanju itd.) menjaju po sinusoidalnom zakonu, naziva se čist ili *prost ton.* Na slici 1.2 - a je prikazano kako bi u cevi sa prethodne slike mogao da se stvori prost ton. Klip je preko poluge spojen sa



Slika 1.2. Prost (čist) ton: a - nastajanje, b - oblik pritiska

točkom koji se okreće konstantnom ugaonom brzinom. Spojevi između poluge i klipa i poluge i točka su preko osovina, tako da, dok se točak okreće, klip se pomera napred -nazad. Ako točak u jednoj sekundi napravi dvadesetpet obrtaja, prost ton koji se čuje na izlazu cevi ima učestanost f=25 Hz, periodu T= 1/25 = 40 ms i talasnu dužinu:

$$= c/f = 343/25 = 13{,}7 \text{ metara.}$$

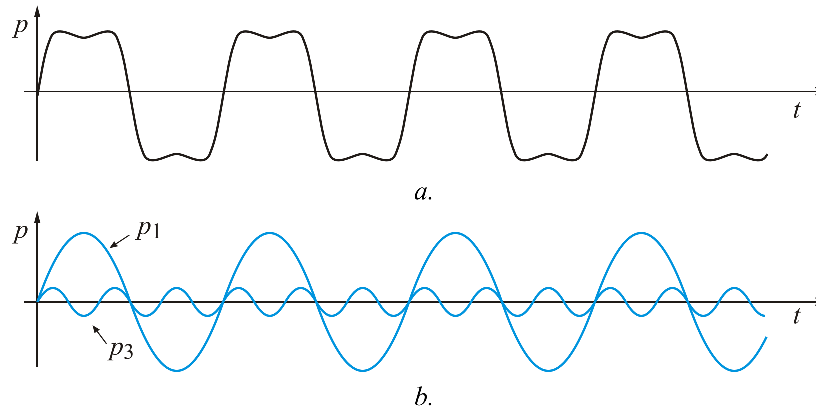
Na slici 1.2 - b je prikazano kako se tokom vremena menja zvučni pritisak (p) na izlazu iz cevi, odnosno u prostoru u kome postoji prost ton stvoren na gore opisan način. Sa p je obeležena trenutna vrednost pritiska, a sa P_m amplituda (maksimalna vrednost) pritiska. Ako bismo u ovom primeru želeli da učestanost zvuka bude veća, trebalo bi povećati brzinu okretanja točka, a ako bismo želeli da zvuk bude jači, trebalo bi osovinu preko koje je poluga pričvršćena za točak pomaći dalje od centra točka.

Prost ton ne postoji u prirodi, njega može da stvori samo akustička viljuška ili elektronski oscilator. Govor, muzika kao i drugi zvuci koje stvaraju razne mašine, vetar, koraci itd. imaju oblik koji je znatno složeniji od sinusoide sa slike 1.2. Takvi zvuci se nazivaju *složeni tonovi.* Složeni ton može da se rastavi na izvestan broj (taj broj može da bude i beskonačno veliki) "običnih" sinusoida. Drugačije rečeno, svaki složeni ton se sastoji od izvesnog broja prostih tonova koji se nazivaju *harmonici* složenog tona. Ako je učestanost složenog tona f, njegovi harmonici imaju učestanosti f (prvi ili osnovni harmonik), $2f$ (drugi harmonik), $3f$ (treći harmonik), $4f$ (četvrti harmonik, $5f$ (peti harmonik) itd. Amplitude harmonika zavise od amplitude i oblika složenog tona, s tim da neke od njih mogu da budu

jednake nuli.

Pogledajmo jedan jednostavan primer. Na slici 1.3 - a je prikazano kako se tokom vremena menja zvučni pritisak u blizini nekog izvora složenog zvuka. Ovakav složeni ton se sastoji od samo dva harmonika, prvog (p_1) čija je učestanost jednaka učestanosti složenog tona, i trećeg (p_3) čija je učestanost tri puta veća od učestanosti složenog tona (slika 1.3 - b). (Jednostavan dokaz ispravnosti postupka razlaganja složenog tona na njegove harmonične komponente je to što se sabiranjem sinusoida p_1 i p_3 sa slike 1.3 - b dobija složeni ton sa slike 1.3 - a.)

Složeni zvuk koji neprekidno menja učestanost i amplitudu (šum vode koja teče, pljesak publike i sl.) sastoji se od vrlo velikog broja osnovnih i viših harmonika. Dok ih sluša, čovek registruje sve harmonike koji se nalaze u njegovom čujnom opsegu, ali nije sposoban da ih razlikuje kao posebne komponente, jer su njihove učestanosti vrlo bliske. Takvi složeni zvuci se nazivaju *šum*.



Slika 1.3. a - složeni ton, b - komponente (harmonici) složenog tona

Pokrenite ELECTRONICS WORKBENCH, pa pogledajte primer PE4-EWB\02.slika1.3.ewb



1.3. Jačina, visina i boja tona

U prethodnim poglavljima bilo je reči o oscilovanju čestica vazduha i zvučnom pritisku. Pri fizičkoj analizi zvuka, pored pomenutih, analiziraju se i druge karakteristike zvuka, kao što su brzina oscilovanja čestica, energija itd. Sve su to objektivne karakteristike zvuka koje mogu da se analiziraju i mere instrumentima. Ali čovekov organ čula sluha nije idealan, pa, jednostavno rečeno, čovek ne čuje onako kako instrumenti mere. Na primer, merač pritiska može da pokaže da se pritisak nekog zvuka niske učestanosti (P_m na slici 1.2) smanjio na dva puta manju veličinu, dok će se slušaocima činiti da se je smanjio mnogo više. Pošto je pri konstrukciji audio-pojačavača važno ono što slušaoci čuju, a ne ono što pokazuju instrumenti koji se koriste pri analizi zvuka, pogledaćemo subjektivne karakteristike zvuka, tj. karakteristike koje čovek konstatuje čulom sluha.

Čovek može da razlikuje tri osnovne karakteristike zvuka: *jačinu, visinu* i *boju.*

Osim toga, on, slušajući sa dva uha, zapaža i pravac iz koga dolazi zvuk, što je od značaja za stereofonsku reprodukciju zvuka.

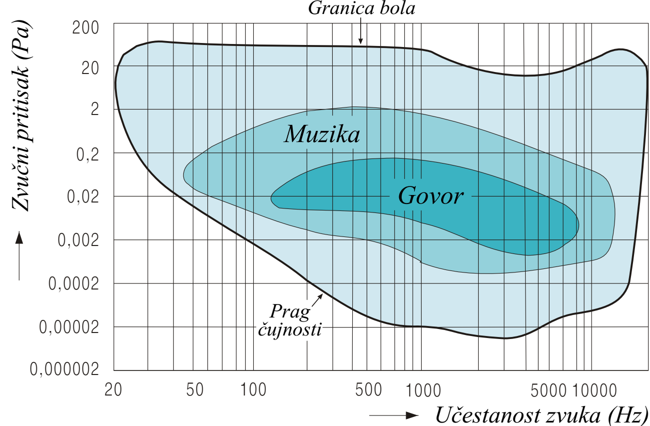
1.3.1. Jačina zvuka

Čovečije uho je jedan od najosetljivijih prijemnika. Pritisak najslabijeg zvuka koji ono može da čuje ima amplitudu od samo P_0 = 0,00002 Pa. (Pa - paskal, jedinica za pritisak). Još veća osetljivost čovečijeg uha bila bi štetna, jer bi čovek tada stalno čuo i šum koji nastaje pri kretanju molekula vazduha zbog toplote. Ovoliku osetljivost čovečije uho ima samo u oblasti srednjih učestanosti. Za zvuke viših i, u još većoj meri, nižih učestanosti, osetljivost uha je manja i sve se više smanjuje pri udaljavanju od srednjih učestanosti.

Kada se na raznim učestanostima izmeri vrednost pritiska najslabijeg zvuka koji čovek može da čuje i rezultati unesu u dijagram u kome je na apscisi učestanost a na ordinati pritisak, dobija se kriva linija koja se naziva *prag čujnosti* (slika 1.4).

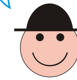
Pri povećanju jačine zvuka koji čovek sluša, sve su veća pomeranja bubne opne i slušnih koščica u čovekovom uhu i kada ta pomeranja postanu prevelika, javlja se bol. I jačina zvuka pri kojoj se javlja bol zavisi od učestanosti. Kriva linija koja prikazuje ovu zavisnost naziva se *granica bola* i ona je, takođe, prikazana na slici 1.4. Površina između praga čujnosti i granice bola predstavlja oblast čujnosti uha. Radi kompletnosti, na slici 1.4 su prikazana i područja u kojima se nalaze komponente govora i muzike.

Pogledajmo ponovo krivu liniju koja predstavlja prag čujnosti. Kao što se vidi, osetljivost čovečijeg uha je najveća za tonove čije se učestanosti nalaze u oblasti od oko 1



Slika 1.4. Granice čujnosti i područja govora i muzike

Zapazite, na slici 1.4, na osi na kojoj je učestanost nije linearna već logaritamska razmera. Prva uspravna linija desno od linije označene sa 20 Hz, odgovara učestanosti od 30 Hz, sledeća 40 Hz itd. Na sličan način, prva linija desno od linije koja označava 100 Hz označava 200 Hz, sledeća 300 Hz, pa 400 Hz itd., a prva linija desno od 1000 Hz, označava 2000 Hz, sledeća 3000 Hz itd.

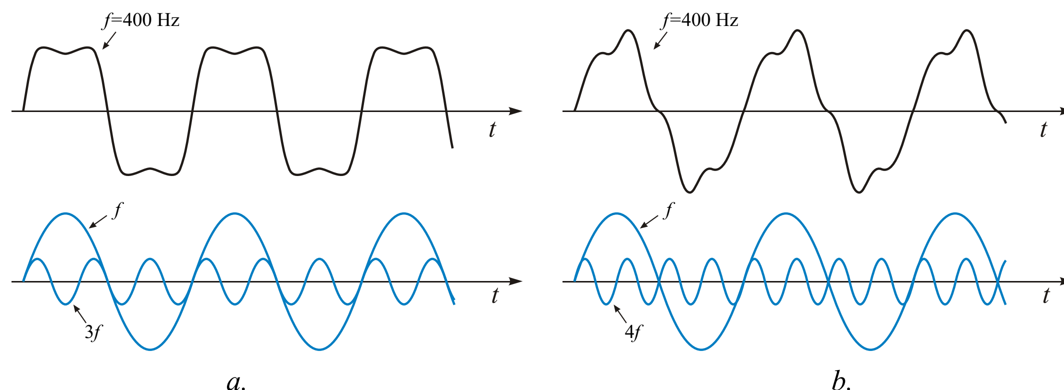


kHz do oko 5 kHz. Za tonove čije su učestanosti više od 5 kHz i, još više, za tonove čije su učestanosti niže od 1 kHz, osetljivost se smanjuje i to utoliko više ukoliko su im učestanosti udaljenije od navedenih vrednosti. Na primer, da bi čovek mogao da čuje ton čija je učestanost 1 kHz, efektivna vrednost zvučnog pritiska treba da je 0,00002 Pa, a da bi čuo ton učestanost 100 Hz, efektivna vrednost pritiska treba da je skoro sto puta veća. Iz ovoga možemo da zaključimo da, kada se jačina muzike koja se reprodukuje preko nekog audio pojačavača smanji (pomoću potenciometra za regulaciju jačine), slušalac će imati utisak da se jačina tonova niskih učestanosti (ispod 1 kHz) smanjila mnogo više nego jačina tonova srednjih učestanosti (oko 1 kHz). Na primer, ako se pojačavaju samo dva tona čije su učestanosti 100 Hz i 1 kHz, slušalac će ih sasvim lepo čuti ako su njihovi pritisci 0,02 Pa. Ali, ako se jačina reprodukcije smanji, tako da oba pritiska budu nešto manja od 0,002 Pa, ton učestanosti 1 kHz će se još uvek lepo čuti, a ton učestanosti 100 Hz se neće čuti, jer se pritisak koji on stvara nalazi ispod praga čujnosti uha.

1.3.2. Visina i boja tona

Visina tona zavisi od učestanosti: niža učestanost - niži ton, viša učestanost - viši ton. Ali, visina tona ili, tačnije rečeno, subjektivni osećaj visine tona, ne zavisi samo od učestanosti, jer i ovde dolaze do izražaja osobenosti čovekovog čula sluha. Na primer, visina tona u izvesnoj meri zavisi i od jačine: kada se zvuči nižih učestanosti (oko stotinak herca) pojačaju, slušalac ima utisak da je ton niži nego što je bio pre pojačavanja. Slično tome, kada se zvuci viših učestanosti (iznad 5 kHz) pojačaju , stiče se utisak da im je i učestanost porasla. Visina tona zvukova čije su učestanosti između 1 kHz i 5 kHz ne zavisi od jačine.

Složeni zvuk, pored visine, ima i boju. Kod njega visinu tona određuje učestanost osnovnog (prvog) harmonika, dok mu boju daju viši (drugi, treći itd.) harmonici. Boja zavisi od učestanosti harmonika i njihovih amplituda, i na osnovu njih slušalac zapaža razliku kada se jedna ista nota odsvira na različitim instrumentima. Kao primer, na slici 1.5 su prikazana dva složena tona istih visina čije su učestanosti f= 400 Hz, dobijena sviranjem iste note na dva različita instrumenta. U donjem delu slike su prikazane komponente ovih tonova. Kao što se vidi, prvi ton, pored prvog (osnovnog) harmonika ima i treći harmonik čija je učestanost 1200 Hz, dok drugi ton, pored prvog, ima i četvrti harmonik čija je učestanost



Slika 1.5. a - složeni ton koji ima osnovni i treći harmonik, b - složeni ton koji ima osnovni i četvrti harmonik

1600 Hz. Na osnovu različitih harmonika, slušalac *zapaža* razliku između ova dva složena tona.

Ali i ovde dolazi do izražaja osobina čovečijeg čula sluha, o kojoj je bilo reči u zadnjem pasusu prethodnog poglavlja. Kada se jačina reprodukcije audio pojačavača smanji, slušaocima će se činiti da su komponente složenog zvuka čije su učestanosti niže,

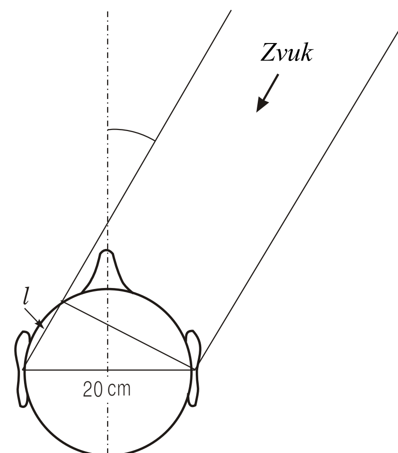
više oslabljene od komponenata čije su učestanosti više, a to dovodi do toga da slušaoci imaju utisak da se i boja tona promenila. Zbog ove pojave, u pojačavačima se koriste sklopovi kojima se postiže da se, pri smanjivanju jačine reprodukcije, pojačanje na nižim učestanostima smanji u manjoj meri nego na srednjim učestanostima. To se postiže tako što se za regulaciju jačine koriste potenciometri sa izvodom. Između izvoda i mase pojačavača vezuje se odgovarajuće RC kolo, a ceo sklop se naziva kolo za kontrolu glasnosti (Loudness Control).

Iz svega do sada rečenog može da se izvede koristan zaključak za ljubitelje vrlo kvalitetne reprodukcije zvuka. Da bi se na mestu reprodukcije očuvala originalna visina zvuka, osnovna učestanost ne sme da bude promenjena. To znači da gramofonska ploča, magnetofonska traka ili CD ploča ne smeju da se okreću brzinom koja je manja ili veća od propisane. Da bi se očuvala originalna boja tona, jačina zvuka pri reprodukciji mora da bude jednaka jačini pri snimanju. Naravno, reprodukcija se vrši manjom snagom jer je prostorija u kojoj prosečan slušalac vrši reprodukciju znatno manje zapremine od koncertne dvorane u kojoj se vrši snimanje. Jednostavnije rečeno, slušalac treba da podesi snagu svog pojačavača tako da jačina zvuka u njegovoj sobi bude ista kao što je bila jačina u prostoriji (studiju) prilikom snimanja.

1.3.3. Lokacija zvučnog izvora u prostoru

Osim što zvukove može da razlikuje po jačini, visini i boji tona, čovek je, slušajući sa dva uha, u stanju da odredi i pravac i smer u kome se nalazi izvor zvuka. Jasno je da u slučaju kada izvor zvuka nije tačno ispred slušaoca, zvuci koji stižu u njegovo levo i desno uho nisu potpuno isti. Razlike, na osnovu kojih se u mozgu stvara informacija o pravcu iz koga zvuk dolazi, mogu biti u jačini i u vremenu.

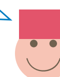
Na slici 1.6 levo uho slušaoca je u tzv. zvučnoj senci (glava u izvesnoj meri zaklanja ovo uho), pa je zvuk koji u njega stiže slabiji od zvuka koji stiže u desno uho. Ova pojava je izraženija pri višim učestanostima, što znači da čovek lakše određuje pravac iz koga zvuk dolazi ako u njemu ima i tonova (ili harmonika) viših učestanosti. Razlike u vremenu stizanja zvuka u levo i desno uho nastaju usled razlike dužina puteva koje zvuk prelazi. Na slici 1.6 razlika dužina puteva označena je sa l. Ona je prilično mala u poređenju sa talasnom dužinom zvukova nižih učestanosti pa je čovek i ne zapaža. Za zvukove viših učestanosti (manjih talasnih dužina) razlika l nije zanemarljiva u odnosu na talasnu dužinu i lako se zapaža. Sve u svemu, čovek vrlo lako određuje pravac iz koga dolaze zvuci viših, a teško pravac iz koga dolaze zvuci nižih učestanosti.

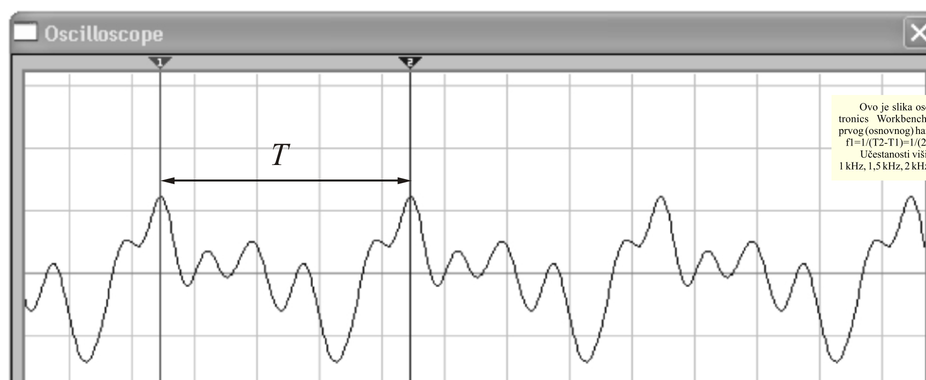


Slika 1.6. Nastajanje fazne razlike između zvučnih talasa u dva uha

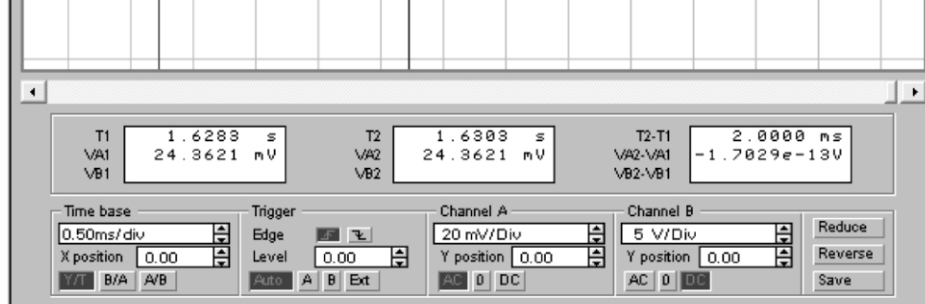
Iz dosadašnjih izlaganja može da se izvede još jedan koristan zaključak za stereofonsku reprodukciju zvuka: položaj zvučnika nije od značaja kada su u pitanju zvučnici niskih učestanosti, jer čovek nije u stanju da na osnovu njih odredi pravac dolaženja zvuka. Ali, njihov položaj je od velikog značaja za ostvarivanje utiska prostornosti kada reproukuju tonove srednjih i, naročito, visokih učestanosti. U tom smislu, postoje praktična rešenja stereofonskih pojačavača kod kojih se za oba kanala (levi i desni) koristi jedan zajednički niskotonski zvučnik. To može da predstavlja značajnu materijalnu uštedu jer niskotonski zvučnici imaju znatno veću snagu od zvučnika koji reprodukuju tonove srednjih i visokih učestanosti, pa im je i cena znatno viša. (Za zvuke srednjih i visokih učestanosti moraju da se koriste posebni zvučnici).

Složeni zvuci koje stvaraju muzički instrumenti i ljudi kad govore i pevaju imaju vrlo veliki broj harmonika. Kao primer, na donjoj slici je prikazano kako izgleda jedan složeni zvuk čija je osnovna učestanost 500 Hz. On ima šest viših harmonika čije su učestanosti 1000 Hz, 1500 Hz, 2000Hz, 2500 Hz, 3000 Hz i 3500 Hz.





Ovo je slika osciloskpa u Electronics Workbench-u. Učestanost prvog (osnovnog) harmonika je: $f1=1/(T2-T1)=1/(2\cdot 10^{-3})=500$ Hz. Učestanosti viših harmonika su: 1 kHz, 1,5 kHz, 2 kHz..... 4 kHz.



Slika 1.7. Složeni zvuk koji ima osam prostoperiodičnih komponenata

2.

OSNOVNE KARAKTERISTIKE AUDIO-POJAČAVAČA

Audio-pojačavači su elektronski uređaji pomoću kojih se pojačavaju i, pomoću zvučnika ili slušalica, reprodukuju električni signali koji se dobijaju na izlaznim priključcima mikrofona, detektora radio i TV prijemnika, glave magnetofona, kasetofona ili gramofona, CD plejera, zvučne kartice kompjutera i ostalih izvora audio signala. Učestanosti ovih signala se nalaze u opsegu od oko 20 Hz do oko 20 kHz, pa, pošto se u našoj stručnoj literaturi ovi signali nazivaju NF (nisko frekventni) signali, često se i audio-pojačavači nazivaju NF pojačavači.

Pored signala iz pomenutih izvora, a to su signali koji predstavljaju električnu sliku muzike ili govora, audio-pojačavačima se pojačavaju i NF signali koji se dobijaju na izlazima različitih pretvarača koji neku promenljivu fizičku veličinu (promenljivu svetlost, pritisak, itd.) pretvaraju u analogni električni signal, kao i signali koje stvaraju elektronski audio oscilatori, što im obezbeđuje primenu u raznim alarmnim i indikatorskim uređajima. Naravno, i ovi signali, da bi mogli da se pojačaju i reprodukuju, treba da imaju učestanosti u prethodno pomenutom opsegu.

Osnovne tehničke karakteristike audio-pojačavača, na osnovu kojih se sagledavaju njihove mogućnosti, su *pojačanje, maksimalna izlazna snaga, koeficijent korisnog dejstva, propusni opseg, dinamika i izobličenja.* Pored ovih, postoje i karakteristike koje su značajne za praktičnu realizaciju uređaja. To su napon jednosmernog izvora iz koga se pojačavač napaja energijom, otpornost zvučnika priključenog na izlaz pojačavača itd, i one će biti date za svaki od pojačavača koji su opisani u tekstu koji sledi.

Na slici 2.1 je blok šema audio-pojačavača. Kao što se vidi, pojačavač je prikazan kao pravougaonik (blok) sa dva ulazna priključka (1 i 2) i dva izlazna priključka (3 i 4). Između ulaznih priključaka se, iz izvora audio signala, dovodi signal koji se pojačava. Između izlaznih priključaka se dobija pojačani signal. Između izlaznih priključaka je spojen zvučnik koji električni signal pretvara u zvuk. Kada se na ulazu pojačavača pojavi napon U_{ul} (to je napon koji je na ulaz doveden sa izlaza izvora audio signala,), javiće se ulazna struja I_{ul}, a na izlazu će se pojaviti napon U_{iz}, koji će kroz zvučnik da stvori struju I_{iz} . Ako je naponsko pojačanje pojačavača jednako A, tada je izlazni napon $U_{iz} = A \cdot U_{ul}$.

Ulazna otpornost pojačavača je data izrazom:

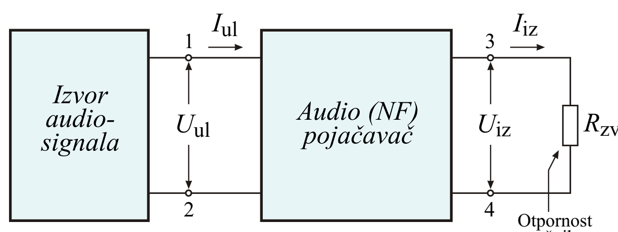
$$R_{ul}=U_{ul}/I_{ul},$$

a izlazna snaga izrazom:

$$P_{iz}=U_{iz}^2/R_{zv}.$$

Na primer, ako je otpornost zvučnika $R_{zv}=4$ i pojačanje poja-čavača $A=400$, a instrumenti poka-zuju da je $U_{iz}=8$ V, $U_{ul}=20$ mV i $I_{ul}=0,5$ A, tada je:

$$R_{ul}=20\cdot 10^{-3}/0,5\cdot 10^{-6}=40 \text{ k} \quad \text{i}$$
$$P_{iz}=8^2/4=16 \text{ W}.$$



Pokrenite EWB i pogledjate primere pod rednim brojevima 05, 06 i 07.



Slika 2.1. Blok-šema audio-pojačavača

2.1. Pojačanje

Pojačanje je odnos izlazne i odgovarajuće ulazne veličine, pa postoje pojačanje napona, pojačanje struje i pojačanje snage. Za audio-pojačavač kao celinu, kao i za njegove pojedine blokove, najznačajnije je pojačanje napona A, koje se definiše kao odnos izlaznog i ulaznog napona:

$$A = U_{iz}/U_{ul}.$$

Na primer, ako je U_{iz}=8 V i U_{ul}=20 mV, pojačanje je:

$$A=8/0{,}02=400.$$

Pojačanje se u praksi retko daje u ovom obliku, kao prost odnos izlaznog i ulaznog napona. Mnogo češće, ono se daje u decibelima (dB). Za to ima više razloga, ali u slučaju audio-pojačavača to se čini zbog, već pominjane, činjenice da čovečije uho ne čuje onako kako instrumenti mere. Naime, ako se pri slušanju neke muzike, smanji pojačanje pojačavača tako da se njegova izlazna snaga smanji na polovinu (to pokazuje instrument priključen paralelno zvučniku), slušaoci to neće zapaziti, njima će se činiti da je snaga ostala ista. Ako se sa smanjivanjem pojačanja i snage nastavi, slušaoci će to da primete, ali će im se i tada činiti da je smanjenje mnogo manje od stvarnog smanjenja koje pokazuje instrument. Ali, ako se pojačanje izrazi u decibelima, pa se ono sa neke vrednosti smanji na dva puta manju, slušaoci će to sasvim lako da zapaze. Pojačanje u decibelima se dobija tako što se logaritam odnosa izlaznog i ulaznog napona pomnoži sa 20:

$$A = 20\log(U_{iz}/U_{ul})$$

U našem prethodnom brojčanom primeru, pojačanje u decibelima iznosi:

$$A = 20\log(400) = 20\cdot 2{,}6 = 52 \text{ dB}.$$

Kada pojačavač ima više pojačavačkih stepena, što je, inače, skoro uvek slučaj, ukupno pojačanje (u dB) je jednako zbiru pojačanja (u dB) svih stepena. Na primer, ako pojačavač ima tri pojačavačka stepena čija su pojačanja 10 dB, 20 dB i 30 dB, ukupno pojačanje je 60 dB.

2.2. Maksimalna izlazna snaga

Maksimalna izlazna snaga audio-pojačavača je najveća električna snaga koja može da se dobije na zvučniku, a da pri tome izobličenja ne budu veća od neke dopuštene veličine. Obe ove veličine - maksimalna snaga i izobličenja - zavise od namene pojačavača. Jasno je, na primer, da je maksimalna snaga mnogo manja, a dopuštena izobličenja veća kod audio-pojačavača koji se koristi u nekom džepnom radio-prijemniku, nego kod audio-pojačavača nekog Hi-Fi uređaja.

Obično se audio-pojačavač koristi sa snagom koja je manja od maksimalne snage jer su tada i izobličenja manja. Ako se na ulaz pojačavača dovede signal koji je veći od signala pri kome se dobija maksimalna snaga, izlazna snaga je veća od maksimalne, ali su tada i izobličenja znatno veća, a postoji i opasnost da pojačavač bude trajno oštećen.

Izlazna snaga se ostvaruje u poslednjem stepenu audio-pojačavača, koji se naziva izlazni stepen ili pojačavač snage. U svim savremenim audio-pojačavačima, i u onima koji su realizovani sa tranzistorima i u onima koji su realizovani pomoću integrisanih kola, koristi se izlazni stepen sa komplementarnim tranzistorima. Najveća moguća izlazna snaga ovih izlaznih stepena (bez obzira na izobličenja) se računa po obrascu:

$$P_{izmax}=U_B^2/(8\cdot R_{zv}),$$

u kome je U_B - napon baterije ili ispravljača iz koga se pojačavač napaja jednosmernom strujom i R_{ZV} - otpornost zvučnika priključenog na pojačavač.

Pri toj snazi, jednosmerna struja koju pojačavač vuče iz baterije (ispravljača) iz koje se napaja je:

$$I_B = U_B/(6{,}28\cdot R_{zv}),$$

a amplituda struje kroz svaki od izlaznih tranzistora:

$$I_{izmax} = U_B/(2\cdot R_{zv}).$$

Na primer, ako je $U_B = 12$ V i $R_{zv} = 4$, maksimalna izlazna snaga je

$$P_{izmax} = 144/(8\cdot 4) = 4{,}5\text{W},$$

a struje su:

$$I_B = 12/(6{,}28\cdot 4) = 0{,}48 \text{ A i}$$
$$I_{izmax} = 12/(2\cdot 4) = 1{,}5 \text{ A}.$$

Šta da se radi ako je potrebna veća snaga? Postoje dva rešenja: ili da se koristi zvučnik manje otpornosti, ili da se koristi baterija (ispravljač) sa višim naponom. Ako se u

prethodnom primeru, umesto zvučnika otpornosti 4 koristi zvučnik otpornosti 2 (to mogu da budu i dva ista zvunika od 4 vezana u paralelu) maksimalna izlazna snaga će biti 9 W, a ako se zadrži zvučnik od 4 i iskoristi ispravljač koji daje napon U_B = 24 V, maksimalna izlazna snaga će biti 18 W. U oba slučaja, izlazni tranzistori treba da budu sposobni da izdrže struju od 3 A, a ispravljač da dâ struju od 0,96 A.

Prethodne formule i sva tri brojčana primera važe za slučaj idealnih tranzistora koji nemaju "kolenastu" I_B-U_{BE} karakteristiku i napon zasićenja im je jednak nuli, a radna tačka je u klasi B. Pošto takvi tranzistori ne postoje, a neće ih ni biti, maksimalna izlazna snaga je znatno, čak i do dva puta, manja od teorijske vrednosti koja se dobija po prethodnoj formuli. Kada se imaju u vidu i problemi sa hlađenjem tranzistora ili integrisanih kola, raspoloživa maksimalna izlazna snaga postaje i više puta manja od snage izračunate po formuli, u šta možete da se uverite u praktičnim primerima audio-pojačavača o kojima će biti reči kasnije.

Početnici obično "čeznu" za što većom izlaznom snagom, smatrajući da je to, kad su u pitanju audio-pojačavači, najvažnija stvar na svetu. Nije! Potrebna veličina izlazne snage pojačavača, zavisi od namene pojačavača, i nalazi se u granicama od nekoliko milivata (kod pojačavača koji na svom izlazu imaju slušalice), preko nekoliko desetih delova vata (kod pojačavača prenosnih radio-prijemnika, kasetofona, vokmena, MP3 plejera i sl.) i nekoliko vata (kod stacionarnih kućnih radio-prijemnika i sl.), do nekoliko desetina vati (Hi-Fi uređaji). Najbolju predstavu o stvarno potrebnoj veličini izlazne snage steći ćete ako imate u vidu da maksimalna izlazna snaga audio-pojačavača prosečnog TV prijemnika nije veća od nekoliko vati, a da prosečan gledalac sa normalnim čulom sluha nikada ne sluša sa punom izlaznom snagom. U normalnim uslovima, za ozvučenje prosečne sobe, dovoljna je izlazna snaga znatno manja od jednog vata. Prvi audio-pojačavač koji je napravio autor ovih redova, bio je sterefonski pojačavač maksimalne izlazne snage 5 W po kanalu, sa čuvenom izlaznom pentodom EL84. I to se, u to vreme, smatralo za sasvim dovoljnu snagu. Uostalom, u to vreme, rokenrol muzičari su na javnim nastupima koristili čuvena Maršalova pojačala sa elektronskim cevima, čija je izlazna snaga bila nekoliko desetina vati i stotine njihovih slušalaca su bili sasvim zadovoljni.

O tome kako se meri izlazna snaga pojačavača, biće reči u poglavlju 2.4.

I, na kraju ovog dela, recimo da se u praksi često sreće i izraz "muzička snaga". O čemu se radi? Maksimalna snaga o kojoj je do sada bilo reči je *nominalna (nazivna)* snaga. To je snaga sa kojom pojačavač može neograničeno dugo da radi, bez opasnosti od pregrevanja koje bi moglo da dovede do oštećenja. Međutim izvesno, relativno kratko, vreme pojačavač može da radi i sa snagom znatno većom od maksimalne, pod uslovom da će odmah posle toga izvesno vreme da radi sa snagom koja je znatno manja od maksimalne. Za vreme dok je snaga bila veća od maksimalne, izlazni tranzistori u pojačavaču snage se zagreju više nego što je dozvoljeno, ali se odmah zatim, u periodu kada je snaga manja od maksimalne, ohlade na svoju normalnu temperaturu. Pri reprodukciji muzike, situacija je upravo kao što je rečeno. Vrlo glasne delove, kada tranzistori počnu da se pregrevaju, prate tiši delovi, pa tranzistori "imaju vremena" da se ohlade. Ta, veća snaga, koju pojačavač izdržava zato što postoje intervali kad je snaga znatno manja, se naziva muzička snaga. Inače, muzička snaga je za 20 do 50 procenata veća od nominalne snage.

2.3. Koeficijent korisnog dejstva (efikasnost)

Audio-pojačavač, kao i svaki drugi aktivni pojačavač, je pretvarač koji jednu vrstu energije (električnu energiju jednosmerne struje koju pojačavač vuče iz baterije za napajanje) pretvara u drugu vrstu (u energiju naizmenične struje koja teče kroz zvučnik). Kako se pri svakom pretvaranju energije, iz jednog u drugi oblik, jedan njen deo pretvori u toplotu, uvodi se pojam koeficijenta korisnog dejstva koji nam daje brojčani podatak o efikasnosti pojačavača.

Koeficijent korisnog dejstva ( ) je odnos snage promenljive struje koja teče kroz zvučnik (P_{iz}) i snage jednosmerne struje koju pojačavač uzima iz jednosmernog izvora za napajanje (P_B):

$$= P_{iz} / P_B,$$

gde je $P_B = U_B \cdot I_B$, U_B – jednosmerni napon a I_B – jednosmerna struja izvora za napajanje (baterije ili ispravljača).

Maksimala teorijska veličina koeficijenta korisnog dejstva audio-pojačavača čiji izlazni tranzistori rade u klasi B je 78%. Ali, tada su izobličenja koja unosi izlazni stepen nedopustivo velika, pa se radna tačka pomera u klasu AB. Tada se izobličenja smanjuju ali je i koeficijent korisnog dejstva manji, recimo 60%. Ovaj broj nam kazuje da se od ukupne energije koju pojačavač uzima iz izvora jednosmernog napona za napajanje, 60% pretvara u električnu energiju koju pojačavač predaje zvučniku, a ovaj je, zatim, pretvara u akustičnu energiju. Šta se dešava sa preostalih 40% energije? Ona biva pretvorena u toplotu, zbog čega se izlazni tranzistori odnosno integrisano kolo zagrevaju, pa ih treba montirati na odgovarajuće hladnjake. Na primer, ako se pojačavač napaja iz ispravljača čiji je napon U_B = 16 V, i iz njega vuče struju I_B = 0,5 A tada je $P_B = 16 \cdot 0{,}5 = 8$ W. Ako je koeficijent korisnog dejstva pojačavača 60%, tada je snaga koju pojačavač predaje zvučniku 4,8 W, a izlazni tranzistori (zajedno) se ponašaju kao električna grejalica snage 3,2 W.

Na kraju, recimo da, sa finansijske tačke gledišta, gubitak 40% energije koju pojačavač uzima iz izvora za napajanje nije od naročito velikog značaja kada se koristi ispravljač priključen na mrežu od 220 V. Drugačije je, međutim, ako je u pitanju pojačavač koji se koristi u nekom prenosnom uređaju koji se napaja iz baterije. Električna energija koju ona daje je znatno skuplja, pa i gubitak više košta. Pored toga, što je gubitak veći, vek trajanja baterije je manji. Zbog toga su za prenosne pojačavače velikih snaga (kao što su megafoni i sl.) konstruisani izlazni stepeni za koje se kaže da rade u klasi D, a nazivaju se i prekidački pojačavači, *PWM* pojačavači i sl. Njihov koeficijent korisnog dejstva dostiže vrednost od čitavih 98%. To znači i da su toplotni gubici vrlo mali (samo 2%), pa hladnjaci kojima se odvodi toplota imaju znatno manje dimenzije, što je značajna stvar kod audio-pojačavača velikih snaga.

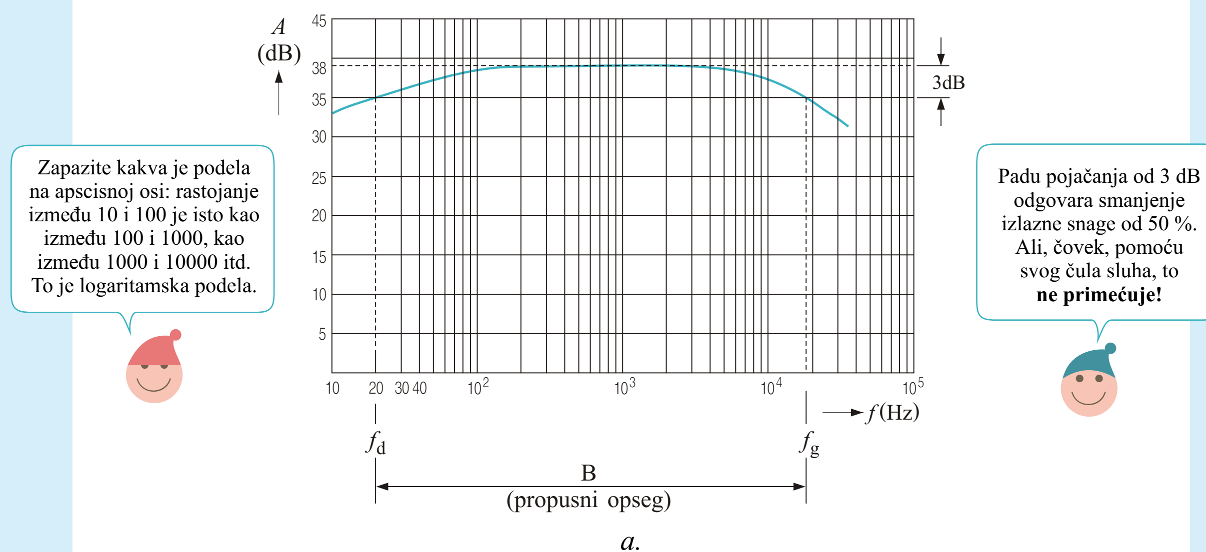
2.4. Propusni opseg

Pojačanje idealnog audio-pojačavača ne zavisi od učestanosti, što znači da on podjednako pojačava sve signale bez obzira na to kolika im je učestanost. Ali, takav pojačavač ne postoji, a imajući u vidu da ni naš sluh nije idealan - nije nam ni neophodan. U stvarnosti, pojačanje pojačavača je relativno konstantno samo u oblasti srednjih učestanosti (oko 1 kHz), kao što se vidi na slici 2.2 - a. Na višim učestanostima pojačanje se smanjuje zbog uticaja kapacitivnosti veza između komponenata, međuelektrodnih kapacitivnosti tranzistora, kapacitivnosti kablova kojima se signal iz izvora NF signala dovodi u pojačavač itd. Pad pojačanja u oblasti niskih učestanosti nastaje zbog kondenzatora za spregu između stepena, emiterskih kondenzatora itd.

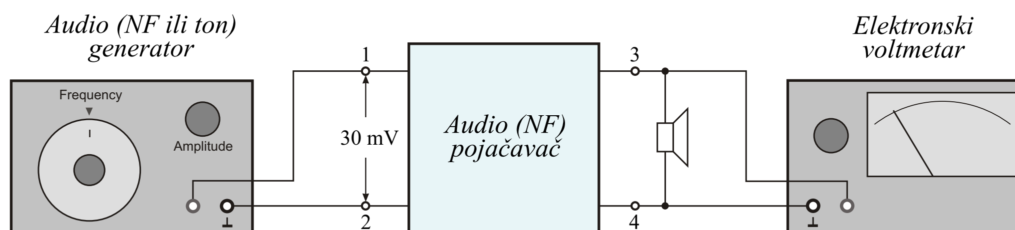
Slika 2.2 - a je dobijena tako što je, prema slici 2.2 -b, na ulaz pojačavača doveden NF signal iz ton generatora čija je veličina podešena na U_{ul}= 30 mV. Zatim je učestanost ton-generatora podešena na f_1=10 Hz, i pomoću elektronskog voltmetra izmeren izlazni napon U_{iz} = 1,3 V. Pojačanje se računa:

$$A_1=20\cdot\log(1{,}3/0{,}03) = 33\text{ dB}.$$

Zatim se učestanost ton generatora podesi na f_2=20 Hz, izmeri se U_2 = 1,7 V i



a.



f (Hz)	10	20	40	100	200	400	1000	2000	4000
U_{iz} (V)	1,3	1,7	2,0	2,2	2,4	2,4	2,4	2,4	2,3
A (dB)	33	35	36,5	37	38	38	38	38	37,7

b.

Slika 2.2. a - amplitudsko-frekvencijska karakteristika audio-pojačavača
b - snimanje a-f karakteristike

izračuna pojačanje :

$$A_2 = 20\cdot\log(1{,}7/0{,}03) = 35\text{ dB},$$

pa na f_3 = 40 Hz itd. Poslednje merenje na slici 2.2 - b je obavljeno na učestanosti 4 kHz, ali se

merenja nastavljaju i na višim učestanostima (8 kHz, 10 kHz, 11 kHz, 12 kHz itd.) Rezultati se unose u tabelu na slici 2.2-b. Na osnovu ovih rezultata se crta dijagram na slici 2.2 - a. Prva tačka ima koordinate f_1 = 10 Hz i A_1= 33 dB, sledeća f_2= 20 Hz i A_2 = 35 dB itd. Spajanjem tačaka dobija se kriva linija koja predstavlja *amplitudsko-frekvencijsku karakteristiku* pojačavača.

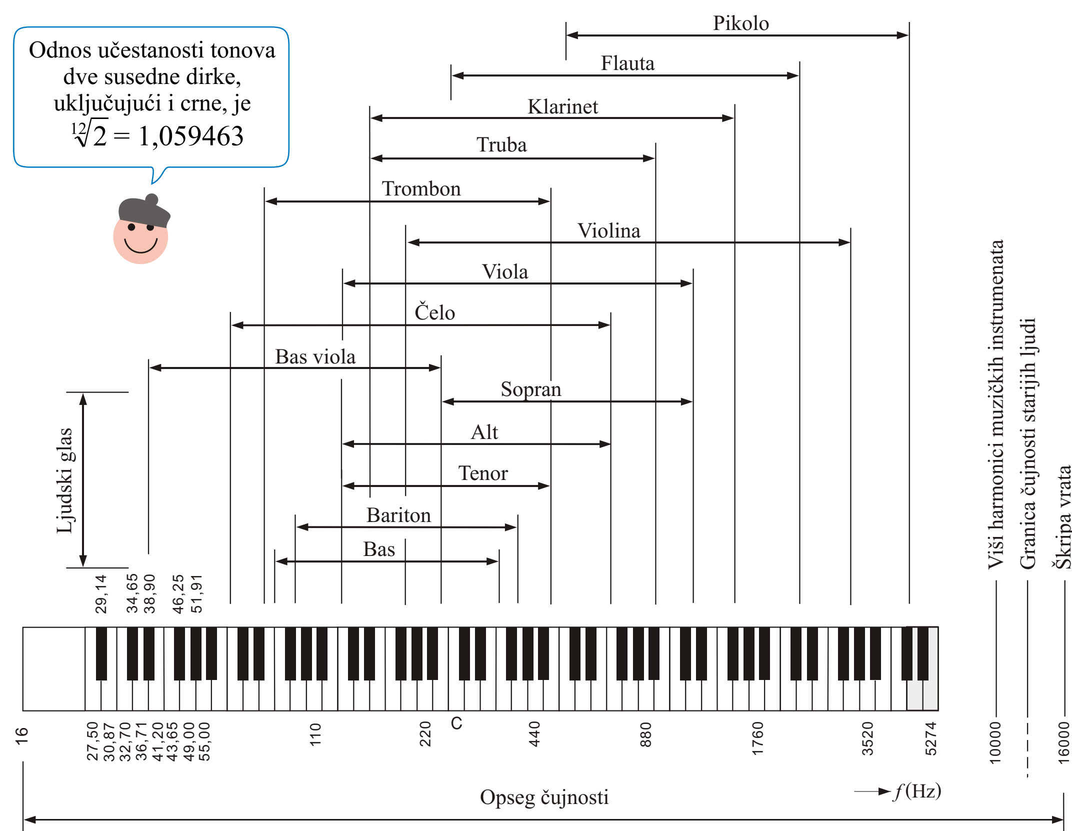
Kao što se vidi na slici 2.2 - a, pojačanje je maksimalno u oblasti srednjih učestanosti i jednako je A_{max} = 38 dB. Praktična merenja su pokazala da slušaoci ne zapažaju smanjenje pojačanja ako ono (smanjenje) nije veće od 3 dB. U tom smislu, propusni opseg se definiše kao opseg učestanosti u kome pad (smanjenje) pojačanja nije veći od 3 dB. Učestanosti na kojima je pojačanje tačno za 3 dB manje od maksimalnog pojačanja nazivaju se *granične učestanosti propusnog opsega.* One su obeležena sa f_d - donja i f_g - gornja granična učestanost. U našem primeru je A_{max} = 38 dB, pa su f_d i f_g učestanosti na kojima je pojačanje jednako 35 dB, a to su učestanosti koje odgovaraju tačkama u kojima horizontalna linija označena sa 35 dB seče krivu liniju. U našem primeru granične učestanosti pojačavača su f_d = 20 Hz i f_g = 18 kHz.

Na kraju ovog poglavlja postavlja se pitanje koliki bi trebalo da je propusni opseg audio-pojačavača? To zavisi od njegove namene i kvaliteta reprodukcije koji treba da se ostvari.

Na slici 2.3 može da se vidi da se učestanosti osnovnih harmonika ljudskog glasa nalaze u granicama od oko 80 Hz do oko 900 Hz, dok su učestanosti osnovnih harmonika muzičkih instrumenata u granicama od oko 40 Hz do oko 4 kHz. Učestanosti viših harmonika ljudskog glasa su do 6 kHz. Za potpuno veran prenos trebalo bi da se pojačaju sve ove komponente. To znači da bi donja granična učestanost pojačavača trebalo da je 80 Hz a gornja 6 kHz. (Da bi se ostvarila dovoljna razumljivost, dovoljno je da se prenesu samo komponente čije učestanosti nisu više od 1500 Hz, pod pretpostavkom da su svi ostali uslovi idealni (nema izobličenja, šuma itd.). Međutim, tada bi bilo nemoguće prepoznati glas čoveka koji govori, pa je u telefoniji usvojen opseg od 300 Hz do 3400 Hz, a toliki bi mogao da bude i propusni opseg pojačavača (B) koji se koristi u interfonu i sličnim uređajima.)

Za kvalitetan prenos muzike ovolika širina propusnog opsega je znatno manja od potrebne vrednosti. (U to možete lako da se uverite. Pozovite telefonom nekog poznanika i zamolite ga da mikrofon primakne zvučniku radio-prijemnika. Kvalitet muzike koju čujete je ispod svakog prihvatljivog minimuma, jer su sve komponente čije su učestanosti iznad 3400 Hz odsečene.) Komponente muzike prekrivaju celo čujno područje, ali nije potrebno da se sve komponente prenesu. Hi-Fi reprodukcija se ostvaruje i ako je propusni opseg pojačavača od f_d = 30 (ili 40) Hz do f_g = 15 kHz. Razlike u odnosu na original nisu mnogo uočljive ni pri opsegu od 80 Hz do 8 kHz. Može da se toleriše i uži opseg. (U tom smislu korisno je slušati na dobrom radio-prijemniku muziku neke stanice koja radi na srednjim talasima. Najviši zvuk koji tada može da se čuje ima f= 4,5 kHz, a za većinu slušalaca kvalitet je zadovoljavajući.)

Ako širina frekvencijskog opsega mora da se smanji iz bilo kog razloga, onda ga treba sužavati sa obe strane, i u oblasti niskih i u oblasti visokih učestanosti. Reprodukcija je



Slika 2.3. Osnovne učestanosti ljudskog glasa i nekih muzičkih instrumenata

najprirodnija ako je geometrijska sredina gornje i donje učestanosti između 700 Hz i 800 Hz:

$$700 < \sqrt{f_d \; f_g} < 800$$

2.5. Dinamika

Dinamika pojačavača je jedna od karakteristika o kojoj prosečan slušalac skoro i da ne vodi računa jer nedovoljnu dinamiku zapažaju samo oni koji su muziku koju slušaju preko pojačavača, imali priliku da slušaju i na koncertu. Ako je muzika snimljena na neki uređaj sa nedovoljnom dinamikom, poznavaoci muzike to prepoznaju po tome što se pri reprodukciji tihih delova čuje i šum, a pri reprodukciji vrlo glasnih delova zapažaju se izobličenja.

Dinamika pojačavača je odnos maksimalne izlazne snage pri kojoj su izobličenja jednaka dozvoljenoj veličini i minimalne snage pri kojoj odnos *signal/šum* nije manji od zadate vrednosti. (Šum pojačavača je zvuk u obliku šuštanja koji se čuje iz zvučnika kada je između ulaznih priključaka pojačavača (tačke 1 i 2 na slici 2.1) kratak spoj, a potenciometar za regulaciju jačine postavljen na maksimum. To je šum koji se stvara u otpornicima i tranzistorima prvog i, u manjoj meri, drugog stepena pojačavača i koji se pojačava u narednim stepenima. Šum se ne zapaža ako je korisni signal (muzika, govor) znatno, recimo deset puta, veći od šuma (tada je odnos signal/šum jednak 10)).

Na primer, ako su dozvoljena izobličenja k=0,4%, a ona su tolika pri izlaznoj snazi od 20 W, tada je P_{izmax}=20 W. Ako je minimalan odnos signala i šuma *s/š*=10, a on je toliki pri izlaznoj snazi P_{izmin}=1 mW, dinamika pojačavača je:

$$D = 10\log(P_{izmax}/P_{izmin}) = 10\log(20/0{,}001) = 43 \text{ dB}.$$

Hi-Fi kvalitet reprodukcije je ostvaren ako je dinamika jednaka, ili veća, od 60 dB, što odgovara odnosu snaga od milion.

2.6. Izobličenja

Ako izlazni napon pojačavača nije potpuno istog oblika kao ulazni napon, za pojačavač se kaže da unosi izobličenja. Ona se dele u tri grupe: *nelinearna, frekvencijska i fazna izobličenja.*

Nelinearna izobličenja su posledica nelinearnosti statičkih karakteristika tranzistora. Prepoznaju se po promeni boje tona signala koji se pojačava i vrlo su neprijatna za slušanje. Kada se na ulaz pojačavača koji unosi ovu vrstu izobličenja dovede iz audio generatora NF signal u obliku sinusoide, na izlazu se dobija složeni signal. Ako je učestanost signala na ulazu f, tada izlazni signal može da se rastavi na svoje harmonične komponente čije su učestanosti f (prvi ili osnovni harmonik), $2f$ (drugi harmonik), $3f$ (treći harmonik), $4f$ (četvrti harmonik) itd. Brojčani podatak o nelinearnim izobličenjima je faktor izobličenja (klir-faktor) k:

$$k = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + }}{U_1} \; 100\%$$

gde je U_1 - amplituda prvog harmonika, a U_2, U_3, U_4 itd. - amplitude drugog, trećeg, četvrtog itd. harmonika.

Na primer, ako je na ulazu pojačavača signal u obliku sinusoide, a izobličeni signal na izlazu ima četiri harmonika čije su amplitude U_1=5V, U_2=0,4V, U_3=0,25 V i U_5=0,2 V (četvrti harmonik u ovom slučaju ne postoji), klir-faktor je:

$$k = \frac{\sqrt{0{,}16 + 0{,}0625 + 0{,}04}}{5} \; 100\% = 10{,}2\%$$

Opisana nelinearna izobličenja se nazivaju *harmonična izobličenja.* U stvarnim uslovima rada, na ulaz pojačavača istovremeno dolazi više signala a na izlazu, pored osnovnih i viših harmonika ovih signala, postoje i komponente čije su učestanosti jednake zbirovima i razlikama osnovnih učestanosti. Ove komponente su neprijatne za slušanje (zbog neharmoničnosti), a izobličenja se nazivaju *neharmonična izobličenja.*

Nelinearna izobličenja su relativno mala dok se ne dostigne P_{izmax} (slika 2.4 - a). Kada izlazna snaga postane veća od P_{izmax}, izobličenja naglo rastu, iz čega se zaključuje da za kvalitetnu reprodukciju treba koristiti pojačavač čija je maksimalna snaga veća od od snage potrebne za ozvučavanje prostora u kome se pojačavač koristi.

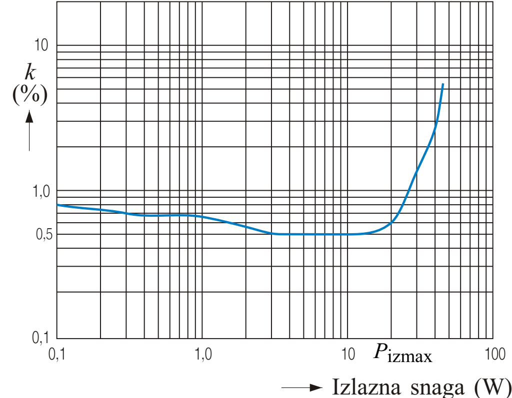
Karakteristika sa slike 2.4 - a se dobija merenjem, pomoću instrumenata povezanih prema slici 2.4 - b. Snaga se meri indirektno, pomoću voltmetra, tako što se za izlazne snage na kojima se mere izobličenja izračunaju odgovarajući izlazni naponi. Pri tome se koristi formula

$$U_{iz} = \sqrt{P \; R_{zv}},$$

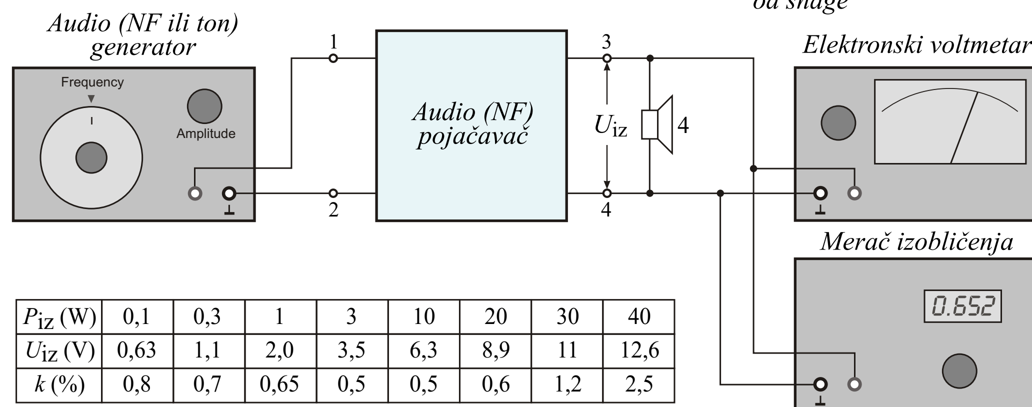
s tim što je smatrano da je korišćen zvučnik otpornosti R_{zv}=4 .

U prvom redu tabele na slici 2.4-b su izlazne snage na kojima su merena izobličenja

(0,1 W, 0,3 W, 1 W itd.), a u drugom su izlazni naponi pri kojima se ostvaruju te snage (0,63 V, 1,1 V, 2 V itd.). Ako nas interesuju izobličenja na učestanosti 1 kHz, tada se ton generator podesi na ovu učestanost. U našem primeru prvo merenje je obavljeno tako što je veličina ulaznog napona podešena tako da je izlazni napon jednak $U_{iz1} = 0{,}63$ V, a pomoću merača su izmerena izobličenja $k_1 = 0{,}8\%$. Zatim je ulazni napon povećan tako da je i izlazni napon porastao na $U_{iz2}=1{,}1$ V i izmereno $k_2 = 0{,}7\%$. Posle toga je podešeno da je $U_{iz3}=2$ V, izmereno je $k_3=0{,}65\%$ itd.



Slika 2.4. a - zavisnost klir-faktora od snage



P_{iz} (W)	0,1	0,3	1	3	10	20	30	40
U_{iz} (V)	0,63	1,1	2,0	3,5	6,3	8,9	11	12,6
k (%)	0,8	0,7	0,65	0,5	0,5	0,6	1,2	2,5

Slika 2.4. b - snimanje zavisnost klir-faktora od snage

Dijagram je dobijen tako što je u njega prvo uneta tačka čije su koordinate 0,1 W i 0,8%, pa tačka čije su koordinate 0,3 W i 0,7 % itd., a zatim su sve tačke spojene.

Ako izobličenja ne smeju da budu veća od 1%, maksimalna izlazna snaga pojačavača čija je karakteristika data na slici 2.4 - a je oko 25 W . Ako se tolerišu veća izobličenja, maksimalna snaga je veća.

Na kraju ovog dela recimo da slušalac ne zapaža nelinearna izobličenja ako su manja od 10%, pa se i maksimalna izlazna snaga, ako nije drugačije naznačeno, daje za tu vrednost izobličenja.

Frekvencijska izobličenja su posledica toga što pojačanje pojačavača nije isto za signale svih učestanosti, o čemu je bilo reči u poglavlju 2.4. Zamislimo da su na ulaz pojačavača čija je zavisnost pojačanja od učestanosti data na slici 2.2 - a dovedena dva signala istih amplituda, čije su učestanost 20 Hz i 1 kHz. Kao što se vidi, ovi naponi neće biti pojačani podjednako. Prvi će biti pojačan za 35 dB (56 puta) a drugi za 38 dB (79 puta) pa će na zvučniku napon od 1 kHz biti veći i ton te učestanosti će se čuti jače od tona učestanosti 20 Hz. Za pojačavač se kaže da unosi frekvencijska izobličenja. Ali ako smanjenje pojačanja nije veće od 3 dB, kao što je slučaj u prethodnom primeru, slušaoci ga ne zapažaju i tada izobličenja mogu da se tolerišu.

Frekvencijska izobličenja mogu da zapaze samo slušaoci koji su muziku koju slušaju preko pojačavača imali prilike da slušaju ili preko nekog kvalitetnijeg uređaja ili u originalnom izvođenju u koncertnoj sali, jer su samo oni u stanju da zapaze da se neki od instrumenata čuje slabije nego što bi trebalo. Ako to nije slučaj, izobličenja ne mogu da se zapaze, čak ni kad je pad pojačanja znatno veći od 3 dB.

Fazna izobličenja nastaju pod uticajem reaktivnih komponenata pojačavača (kondenzatori, kalemovi) koji utiču na fazne stavove između pojedinih komponenata signala koji se pojačava. Ova izobličenja ne mogu da se konstatuju pomoću sluha pa nisu od velikog značaja u audio-pojačavačima.

Po šemi veza na slici 2.4 - b se vrši i merenje izlazne snage pojačavača. Ne meri se direktno izlazna snaga već se izmeri izlazni napon, a snaga se izračunava po obrascu $P_{iz}=U_{zv}^2/R_{zv}$, u kome je U_{zv} - efektivna vrednost izlaznog napona (to je vrednost koju pokazuje elektronski voltmetar), a R_{zv} - otpornost zvučnika. Na primer, ako je napon $U_{iz}=6$ V i otpornost $R_{zv} = 4$, izlazna snaga je $P_{iz}= 6^2/4 = 9$ W.

Na isti način se meri i maksimalna izlazna snaga. U tom slučaju, U_{iz} je izlazni napon pri zadatoj veličini izobličenja. Na primer, ako izobličenja ne smeju da budu veća od 1%, signal iz audio-generatora se povećava sve dok merač izobličenja ne pokaže da je $k = 1\%$. Ako je to ostvareno pri $U_{iz} = 8$ V, maksimalna izlazna snaga je:

$$P_{izmax}= 8^2/4 = 16 \text{ W.}$$

* Sva merenja opisana u ovoj glavi, kao i mnoga druga, na audio-pojačavačima, kao i na pojedinim njihovim blokovima, mogu da se obave i u programu za analizu elektronskih kola Electronics Workbench. Ove analize su vrlo korisne jer pružaju podatke o karakteri-

stikama uređaja što omogućuje razna doterivanja pre nego što se krene u izradu prototipa. Kao primer, na slici 2.5 je prikazana električna šema predpojačavača sa slike 4.1 koja je nacrtana u EWB-u. Na predpojačavač su priključeni osciloskop, ploter, ampermetar i voltmetar za merenje efektivnih vrednosti struje i napona. Na ulazu je napon efektivne vrednosti U_{ul}=5 mV, učestanosti f=1 kHz. Da bi merenja odgovarala stvarnim uslovima, šemi su dodati R3 i C3 koji predstavljaju ulaznu otpornost i ulaznu kapacitivnost sledećeg stepena na koji se vodi pojačani signal iz predpojačavača.

Voltmetar na izlazu pokazuje da je izalazni napon U_{iz}=397 mV, pa je pojačanje predpojačavača:

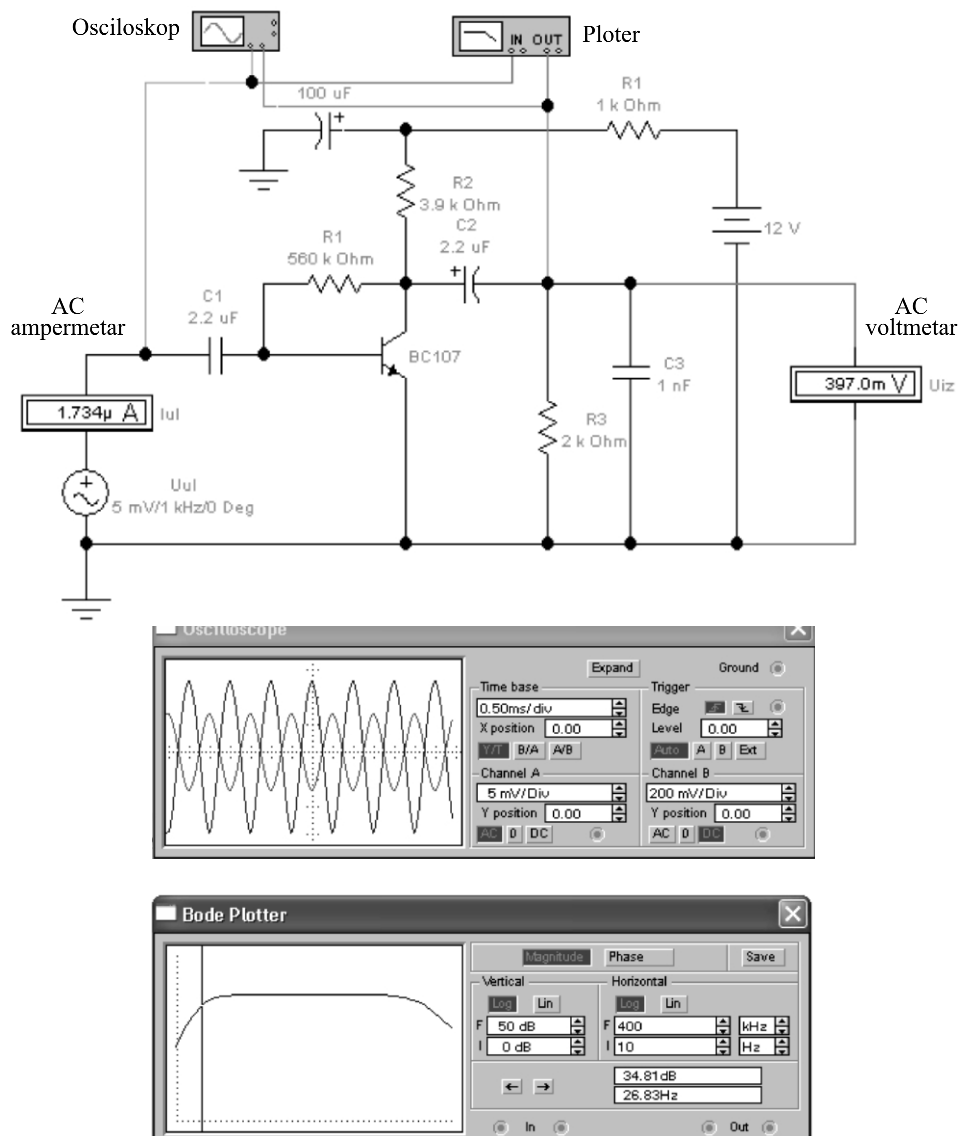
$$A=U_{iz}/U_{ul}=397/5=80=38 \text{ dB}.$$

Ampermetar na ulazu pokazuje da je ulazna struja I_{ul}=1,734 A, pa je ulazna otpornost predpojačavača:

$$R_{ul}=U_{ul}/I_{ul}=5\text{mV}/1{,}734\text{mA}=2{,}88 \text{ k} \ .$$

Na ekranu plotera se vidi da je donja granična učestanost predpojačavača f_d=26,83 Hz, a na ekranu osciloskopa se vide oblici ulaznog i izlaznog napona.

Na šemi je moguće izmeriti i ostale karakteristike predpojačavača (jednosmerne napone i struje, širinu propusnog opsega, izobličenja itd.). Ako neka od njih nema potrebnu vrednost treba probati sa drugim tranzistorom, drugim vrednostima otpornosti i kapacitivnosti, drugim naponom baterije itd., sve dok se ne ostvare potrebne karakteristike.

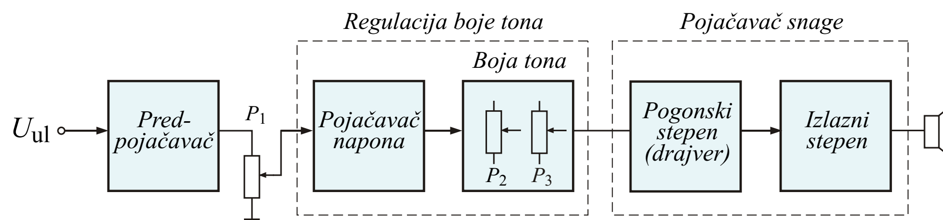


Slika 2.5. Analiza predpojačavača u EWB-u

3.

BLOK-ŠEME I BLOKOVI

Najjednostavnija blok-šema audio-pojačavača je šema na slici 2.1, na kojoj je pojačavač prikazan kao uređaj koji ima dva ulazna kraja (1 i 2), na koje se priključuje signal koji se pojačava, i dva izlazna kraja (3 i 4), na kojima se dobija pojačani signal i na koje je priključen zvučnik. Kraj 1 se popularno naziva "živi kraj", i kad se on dodirne prstom, iz



Slika 3.1. Blok-šema monofonskog audio-pojačavača

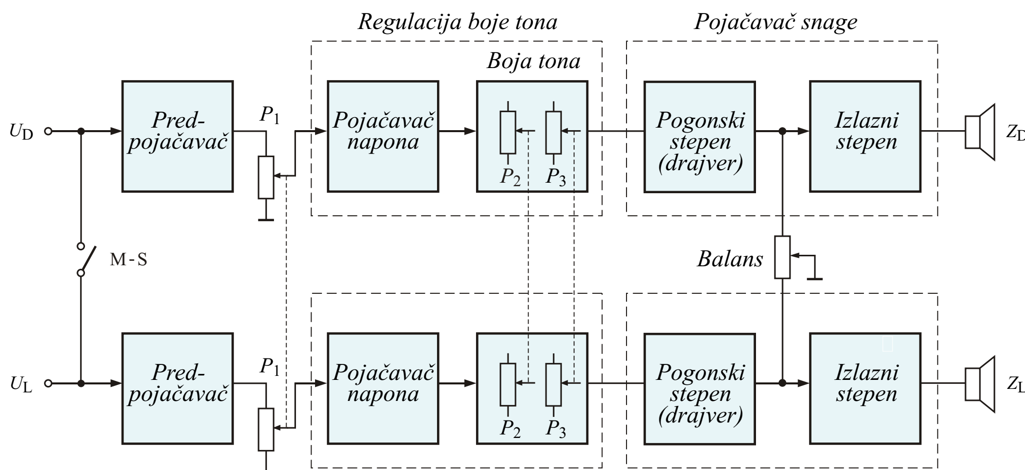
zvučnika se čuje brujanje. (To je ton učestanosti 50 Hz dobijen pojačavanjem napona iste učestanosti koji postoji u telu čoveka, u kome se stvara pod dejstvom električnog polja mrežne instalacije.) Kraj 2 je obično, ne uvek, spojen sa masom pojačavača.

Svi složeniji elektronski uređaji, pa i audio-pojačavači, osim izuzetno jednostavnih, se sastoje od više stepena koji se u složenijim blok-šemama prikazuju kao posebni blokovi, što olakšava analizu pojačavača i ukazuje na ulogu svakog stepena.

Blok šema monofonskog (jednokanalnog) audio (NF) pojačavača, prikazna je na slici 3.1. Ona se sastoji od pet posebnih stepena. Svaki od njih ima dva ulazna i dva izlazna kraja, kao na slici 2.1, ali, radi pojednostavljenja crteža, krajevi koji su spojeni sa masom pojačavača nisu nacrtani, mada oni moraju da postoje. Sa U_{ul} je obeležen električni napon (signal) koji potiče iz mikrofona, detektora radio-prijemnika, izlaza za slušalice MP3 plejera, CD plejera i sl. koji se pojačava. On se dovodi na ulaz pojačavača tj. između priključaka 1 i 2 (koji, kao što je rečeno, nije nacrtan ali se podrazumeva da postoji), a to znači između priključka obele-ženog kružićem i mase pojačavača.

Kao što se vidi na slici 3.1, prvi stepen audio-pojačavača je predpojačavač. Pojačani signal, sa izlaza predpojačavača, vodi se na potenciometar za regulaciju jačine, pa na ulaz pojačavača napona, a sa ovoga na kolo za boju tona, pa na pogonski stepen, izlazni stepen i, na kraju, na zvučnik.

Pojačavač napona i kolo za boju tona se često izvode tako da ih je teško razdvojiti u



Slika 3.2. Blok-šema stereofonskog audio-pojačavača

dva dela, pa će u tekstu koji sledi oni biti posmatrani kao jedan stepen koji se zove "Regulacija boje tona", kao što je prikazano na slici. Slična je situacija i sa pogonskim i izalaznim stepenom. U integrisanim kolima oba ova stepena se prave u jednom čipu (chip, engl. - iver, mali komad, popularan naziv za integrisano kolo) koji se naziva audio-pojačavač snage ili audio izlazni stepen.

Na slici 3.2 je blok-šema stereofonskog (dvokanalnog) audio-pojačavača. Kao što se vidi, on se sastoji od dva potpuno ista monofonska pojačavača kojima se pojačavaju i reprodukuju dva posebna signala koji su obeleženi sa U_L i U_D.

Između ulaznih priključaka oba kanala na slici 3.2. vezan je prekidač obeležen sa M-S. Pri pojačavanju stereo signala ovaj prekidač je otvoren i signali U_L i U_D bivaju pojačani svaki kroz svoj kanal. Kada je na ulaz stereo pojačavača doveden signal iz nekog monofonskog izvora audio signala (recimo ako je na pojačavač priključen običan mikrofon), tada signal biva pojačan samo kroz jedan kanal. U tom slučaju treba zatvoriti prekidač M-S, signal će se pojaviti na oba ulaza i biti pojačan kroz oba kanala.

Za ostvarivanje osećaja o prostornom rasporedu izvođača veoma je važno da pojačanja

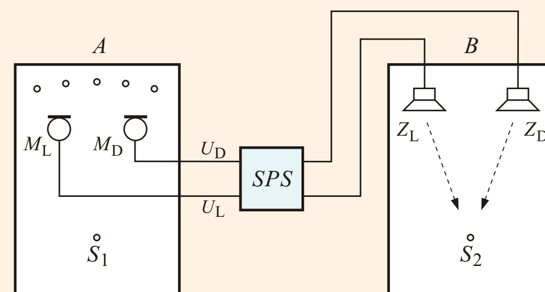
u oba kanala pojačavača budu potpuno jednaka. Naravno, tokom proizvodnje moguće je podesiti da ona budu jednaka, to se i radi, ali posle izvesnog vremena pojačanja nisu više jednaka, jer se tokom vremena u izvesnoj meri menjaju karakteristike upotrebljenih komponenata (otpornosti otpornika, pojačanja tranzistora itd.). Zato je neophodno da korisnici pojačavača imaju mogućnost podešavanja pojačanja. To se ostvaruje pomoću balansnog potenciometra koji je na slici 3.2 obeležen sa "Balans". Njegovi krajevi se vezuju u iste tačke u desnom i levom kanalu a klizač se vezuje za masu. Pri pomeranju klizača nagore pojačanje desnog kanala se smanjuje a levog povećava i obrnuto, pri pomeranju klizača nadole, pojačanje desnog kanala se povećava a levog smanjuje. Balansiranje pojačavača se obavlja tako što slušalac stane na simetralu duži koja spaja levi i desni zvučnik (kao slušalac S2 na slici 3.3), zatvori (ako ga ima) prekidač M-S i pomera klizač potenciometra "Balans", dok ne stekne utisak da zvuk dolazi iz nekog zamišljenog zvučnika koji se nalazi na sredini između levog i desnog zvučnika.

Potenciometri za regulaciju jačine (*P*) se nalaze u zajedničkom kućištu (to je tzv. tandem potenciometar), a klizači su im mehanički spojeni (to predstavlja isprekidana linija na slici 3.2), tako da se zajedno pomeraju, čime je ostvareno da se jačina reprodukcije u oba kanala menja pomoću samo jednog dugmeta.

Isti je slučaj i sa potenciometrima za regulaciju boje, tako da se potiskivanje ili isticanje visokih ili niskih učestanosti signala vrši istovremeno u oba kanala.

STEREOFONIJA - prostorna reprodukcija zvuka

U vrlo prostom obliku, princip stereofonije je prikazan na slici 3.3. Sa *A* je obeležena koncertna dvorana u kojoj slušalac obeležen sa S_1 sluša muziku ansambla čiji su članovi prikazani kao pet kružića. Zvuke koje čuje, slušalac razlikuje po jačini, visini i boji tona, ali i po pravcu iz koga dolaze. Jednostavno rečeno, on ima predstavu o tome koji su izvođači levo, koji desno a koji u sredini. Kada bi ova muzika bila snimljena pomoću samo jednog mikrofona i preneta u sobu drugog slušaoca, a tamo pojačana pomoću monofonskog pojačavača i reprodukovana preko samo jednog zvučnika, taj slušalac (S_2 u prostoriji *B*) ne bi imao predstavu o prostornom rasporedu izvođača, što u izvesnoj meri kvari opšti utisak. Osećaj o prostornom rasporedu se ostvaruje stereofonskim prenosom. Kao što je prikazano na slici 3.3, snimanje se obavlja pomoću dva mikrofona, M_L i M_D, koji su tako postavljeni da se pomoću M_L snima muzika leve polovine ansambla, a pomoću M_D muzika desne polovine. Električni signali koji se dobijaju na izlazima mikrofona obeleženi su sa U_L (levi signal) i U_D (desni signal). Ova dva signala se preko nekog stereofonskog prenosnog sistema (*SPS*) prenose u sobu slušaoca S_2 i reprodukuju preko dva zasebna zvučnika, levog Z_L i desnog Z_D. Iz zvučnika Z_L čuje se muzika leve polovine, a iz Z_D desne polovine ansambla, i slušalac S_2 ima predstavu o prostornom rasporedu izvođača. Šta biva sa izvođačima koji se nalaze u sredini? Zvuci koje oni stvaraju se sa istom jačinom čuju iz oba zvučnika, i slušalac S_2 ima osećaj da postoji još jedan zvučnik, na sredini između Z_L i Z_D, koji reprodukuje muziku muzičara iz sredine ansambla. Stereofonski prenosni sistem SPS bi mogao da bude pojačavač sa slike 3.2 ali je u praksi to sistem stereo radio predajnik - stereo radio prijemnik, ili sistem kojim se muzika snima na magnetnu traku ili kompakt disk i reprodukuje preko stereo pojačavača itd.



Slika 3.3. Stereofonski prenos

3.1. Predpojačavač

Predpojačavač ima ulogu da ulazni signal pojača na nivo potreban za pobuđivanje sledećeg stepena. Na primer, ako je za normalan rad potrebno da na ulazu u stepen "Regulacija boje tona" signal koji se pojačava ima veličinu od 300 mV, a na ulazu pojačavača je mikrofon koji daje napon od 5 mV, osnovna uloga predpojačavača je da ostvari pojačanje

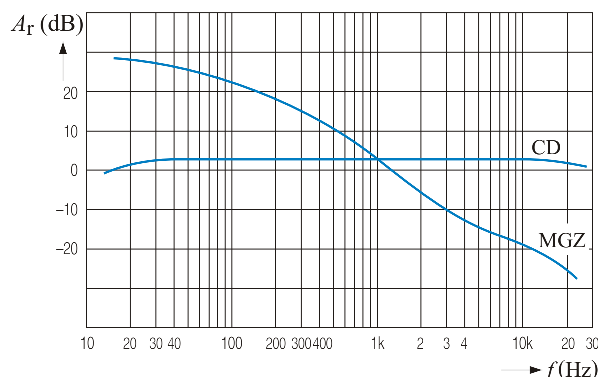
$$A = 20\log(300/5) = 20\log(60) = 36\text{dB}.$$

Pored potrebnog pojačanja, predpojačavač treba da ima i neke druge karakteristike koje odgovaraju karakteristikama izvora audio signala priključenog na ulaz pojačavača, kao i karakteristikama stepena iza predpojačavača. Najvažnije su ulazna i izlazna otpornost i frekvencijska karakteristika.

Ako je audio-pojačavač predviđen za pojačavanje signala iz različitih izvora, tada za svaki izvor treba da postoji poseban ulazni priključak i odgovarajući pretdpojačavač koji se uključuje preklopnikom kojim se bira ulazni signal. Moguće je i rešenje da se koristi samo jedan predpojačavač, a da se njegove karakteristike menjaju pomoću preklopnika kojim se

menjaju otpornici i kondenzatori koji određuju karakteristike predpojačavača. Kao primer, na slici 3.4 je prikazano kakve frekvencijske karakterstike treba da imaju predpojačavač za CD plejer ili mikrofon (CD), i predpojačavač na koji se priključuje gramofon sa magnetnom zvučnicom (GZ).

U posebnim slučajevima, ispred predpojačavača na slikama 3.1 i 3.2 može da se



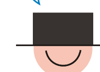
Slika 3.4. Frekvencijska karakteristika predpojačavača za CD plejer i mikrofon (CD) i magnetnu gramofonsku zvučnicu (MGZ)

Zapazite, na ordinati nije "obično" pojačanje već tzv. relativno pojačanje:

$$A_r = 20\log\frac{A}{A_{1000}},$$

gde je A – pojačanje na učestanosti koja nas interesuje, a A_{1000} – pojačanje na učestanosti 1 kHz.

* Na učestanosti f=3 kHz, pojačanje MGZ predpojačavača je je za 10 dB manje od pojačanja na učestanosti f=1 kHz.



koristi mikseta. To je elektronsko kolo koje ima dva ili više ulaza i jedan izlaz. Na ulaze se priključuju različiti izvori audio signala, a na izlazu se dobija zbirni signal koji se dalje pojačava. Najjednostavniji primer primene miksete je kada pomoću jednog pojačavača treba pojačati signale iz više, recimo pet, mikrofona. Mikrofoni se priključe na ulaze miksete, a na njenom izlazu se dobija signal koji predstavlja zbir signala iz svih mikrofona. Ovaj signal se zatim vodi u predojačavač. Velična signala sa svakog ulaza može da se menja pomoću posebnih potenciometara, tako da se ostvari potreban odnos između jačina pojedinih signlala u zbirnom signalu.

3.2. Regulacija boje tona

Kola za regulaciju boje tona omogućuju korisniku da "prekraja" frekvencijsku karakteristiku svog audio-pojačavača i prilagođava je karakteristikama upotrebljenih zvučnika, akustičnim osobinama prostorije u kojoj se pojačavač koristi, vrsti muzike koja se reprodukuje itd. Na primer, ako pojačavač ima ravnu frekvencijsku karakteristiku, kao kriva B-E na slici 2.2 - a, a na njega je priključen zvučnik koji slabo reprodukuje tonove niskih učestanosti, bilo bi korisno kada bi pojačanje u oblasti niskih učestanosti moglo da se poveća, a da, pri tome, pojačanje na srednjim i visokim učestanostima ostane nepromenjeno. Suprotno ovom primeru, kada se pojačava i reprodukuje govor, korisno je da se pojačanje u oblasti niskih učestanosti smanji jer je tada bolja razumljivost. Postoje slični slučajevi kada je korisno smanjiti ili povećati pojačanje u oblasti srednjih, kao i u oblasti visokih učestanosti. Sva ta povećanja ili smanjenja pojačanja se obavljaju pomoću kola za regulaciju boje tona.

Stepen koji je na slici 3.1 obeležen sa "Regulacija boje tona" se sastoji od dva potenciometra kojima se reguliše (povećava ili smanjuje) pojačanje u oblasti niskih (P1) i u oblasti visokih (P2) učestanosti i nekoliko kondenzatora i otpornika. Pošto potenciometri i otpornici slabe signal koji se pojačava, tu je i pojačavač napona koji treba da kompenzuje to slabljenje.

Tipične prenosne karakteristike kola za regulaciju boje tona prikazane su na slici 3.5 - a. Na apscisi, u logaritamskoj razmeri, je učestanost, a na ordinati je relativno pojačanje A_r, koje se računa po formuli:

$$A_r = 20\log(U_2/U_{21k}),$$

u kojoj je U_2 - izlazni napon na učestanosti na kojoj nas interesuje relativno pojačanje, a U_{21k} – izlazni napon na učestanosti f=1kHz. Snimanje ovih karakteristika se obavlja pomoću audio-generatora i elektronskog voltmetra, povezanih prema slici 3.5 - b. (Da bi rezultati merenja odgovarali stvarnim uslovima u kojima radi kolo za regulaciju boje tona, na njegov izlaz je priključen otpornik od 40 k koji predstavlja ulaznu otpornost sledećeg stepena pojačavača.) Kao primer, u tabeli su prikazani rezultati merenja pomoću kojih je nacrtana kriva linija C-F. Klizači oba potenciometra su stavljeni u krajnji donji položaj, a na ulaz je doveden napon veličine 0,3 V i učestanosti 1 kHz i izmeren izlazni napon U_2=0,5 V. To je referentni napon U_{21k}. Zatim je učestanost podešena na f_1 = 10 Hz, a na izlazu je izmeren napon U_2=0,05 V. Relativno pojačanje na učestanosti 10 Hz je:

$$A_r = 20\log(0{,}05/0{,}5) = -20 \text{ dB},$$

a rezultati su uneti u prvu kolonu tabele. Zatim se učestanost ton generatora poveća na f_2=20 Hz, izmeri izlazni napon U_2=0,06 V, izračuna relativno pojačanje:

$$A_r = 20\log(0{,}06/0{,}5) = -18 \text{ dB},$$

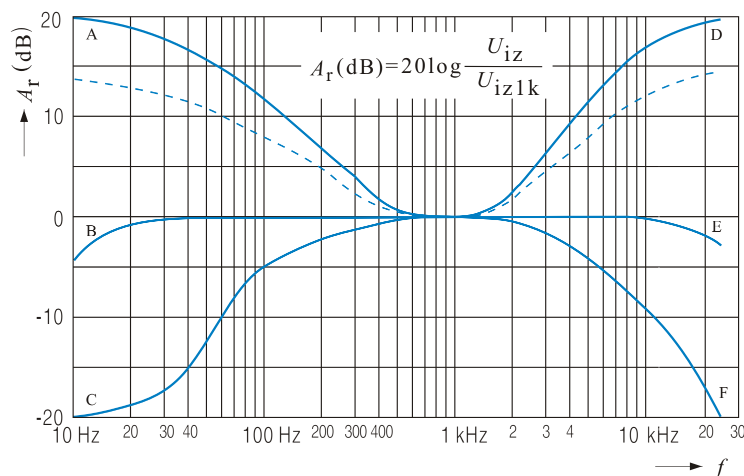
i rezultati unesu u drugu kolonu tabele.

Posle toga se učestanost poveća na f_3= 40 Hz, izmeri U_2=0,09, izračuna A_r=–15 dB itd.

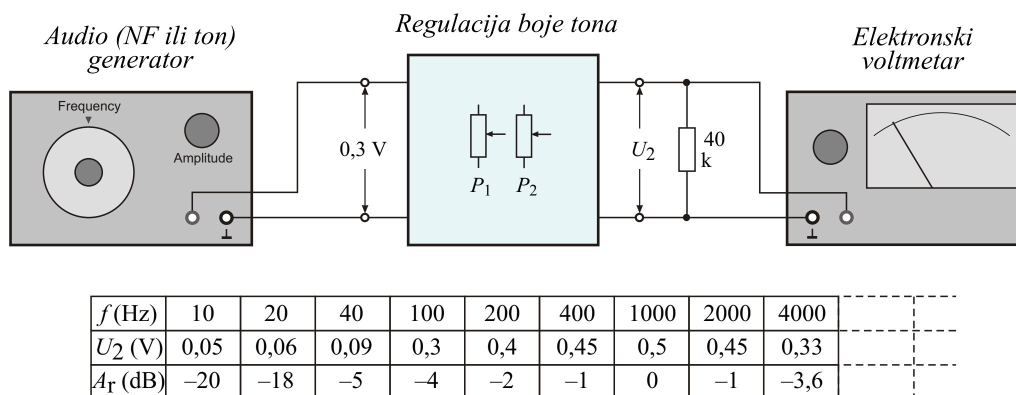
Kada se završi merenje, rezultati iz tabele se prenose u dijagram. Prva tačka ima koordinate f= 10 Hz i A_r=–20, druga f=20 Hz i A_r = −18, treća f=40 Hz i A_r=–15 itd. Spajanjem ovih tačaka dobija se kriva linija C-F.

Kao što je rečeno, kriva C-F je pojačanje u slučaju kada su klizači oba potenciometra u krajnjem donjem položaju. Kada se klizači pomere u svoje srednje položaje, dobija se linija B-E: signali svih učestanosti su podjednako pojačani, a za karakteristiku se kaže da je "ravna". Kada se klizači pomere u svoje krajnje gornje položaje, frekvencijska karakteristika ima oblik prikazan krivom AD. (To je karakteristika koju ljubitelji zabavne muzike najčešće koriste.)

Naravno, moguće su i druge kombinacije položaja klizača, pa karakteristika može da ima bilo koji sličan oblik između krivih A-D i C-F. Na primer, ako se klizači oba potenciometra iz krajnjih gornjih položaja pomere malo ka sredini, karakteristika će biti kao isprekidana linija na slici 3.5-a.



Slika 3.5-a Karakteristike kola za regulaciju boje tona



f (Hz)	10	20	40	100	200	400	1000	2000	4000		
U_2 (V)	0,05	0,06	0,09	0,3	0,4	0,45	0,5	0,45	0,33		
A_r (dB)	–20	–18	–5	–4	–2	–1	0	–1	–3,6		

Slika 3.5-b Snimanje karakteristike kola za regulaciju boje tona

3.3. Pojačavač snage

Prema slici 3.1, pojačavač snage se sastoji iz dva dela, pogonskog stepena i izlaznog stepena. Osnovna uloga pogonskog stepena je da signal koji se dovodi na njegov ulaz pojača na nivo potreban za pobuđivanje (pogon) izlaznog stepena, tako da ovaj proizvede potrebnu izlaznu snagu. Ova podela na dva dela važi za pojačavače izvedene u diskretnoj tehnici (sa tranzistorima kao posebnim komponentama). Kod pojačavača izvedenih sa integrisanim kolima, oba stepena, i drajver i izlazni stepen, su integrisani u jedno kolo, koje se naziva pojačavač snage (Power Amplifier)

Osnovne karakteristike pojačavača snage su kao i već opisane karakteristike celokupnog pojačavača (pojačanje, propusni opseg, maksimalna izlazna snaga, izobličenja, efikasnost itd.).

Od naročitog značaja su izobličenja i efikasnost jer njihove veličine u najvećoj meri, skoro u potpunosti, određuju veličine izobličenja i efikasnosti kompletnog pojačavača. Pored njih, značajna karakteristika pojačavača snage je i *osetljivost* koja se definiše kao veličina signala na ulazu pri kojoj se ostvaruje maksimalna izlazna snaga. Na primer, ako je u katalogu proizvođača integrisanih kola, za neki pojačavač snage navedeno da je maksimalna izlazna snaga P_o=30 W, a ulazni signal U_{ul}=400 mV, to znači da se snaga od 30 W dobija kada je efektivna vrednost signala na ulazu pojačavača snage jednaka 400 mV. Ovaj podatak je značajan jer omogućuje da se izračuna potrebno pojačanje prethodnih stepena (predpoja-

čavača i kola za regulaciju boje tona). Recimo, ako je audio-pojačavač predviđen za pojačavanje signala iz mikrofona, magnetne gramofonske glave i sličnih izvora audio signala koji na svom izlazu daju napone reda veličine nekoliko milivolti (recimo 5 mV), a osetljivost pojačavača snage je, na primer, U_{ul} = 400 mV, tada ukupno pojačanje prethodnih stepena treba da je

$$A = 400/5 = 80.$$

Ovo je minimalna vrednost pojačanja, ono može da bude i veće jer potrebno smanjenje lako može da se ostvari pomoću potenciometra za regulaciju jačine (P1 na sl. 3.1).

3.4. Napajanje

Napajanje audio-pojačavača električnom energijom se vrši iz baterija i akumulatora (kod prenosnih uređaja) i ispravljača, o kojima možete da se detaljnije informišete u u prethodnoj knjizi serije "*Praktična* ELEKTRONIKA", pod nazivom "Ispravljači", u kojoj su detaljno opisani različiti ispravljači, date električne šeme i izgled štampanih pločica, kao i uputstva za praktičnu realizaciju velikog broja ispravljača.

Treba imati u vidu da za normalan rad pojačavača snage audio-pojačavača nije neophodno da jednosmerni napon koji daje ispravljač bude stabilisan, pa se stabilizatori i ne koriste, što je srećna okolnost jer olakšava konstrukciju ispravljača, a predstavlja i značajnu uštedu u materijalu i prostoru.

Uz neka praktična rešenja opisana u tekstu koji sledi, dati su i podaci o ispravljačima, što treba da pomogne čitaocima da steknu predstavu o karakteristikama ispravljača i za ostala praktična rešenja pojačavača. Pri tome, treba napomenuti da u audio-pojačavačima "lavovski" deo jednosmerne struje koju daje ispravljač, vuče pojačavač snage, struja svih ostalih stepena zajedno je mnogo manja, pa se ona i ne uzima u obzir pri projektovanju ispravljača. Dovoljno je da struja ispravljača bude sasvim malo (samo nekoliko procenata) veća od struje izlaznog stepena.

Marfijev zakon:
"Ako bilo šta može da krene naopako - krenuće !"



MiFilov postulat uključivosti:
"Svaki audio-pojačavač bolje radi ako se uključi"



MiFilov postulat neuključivosti:
"Koeficijent korisnog dejstva =100%" ima svaki audio-pojačavač, pod uslovom da nije uključen"



4.

ELEKTRIČNE ŠEME I ŠTAMPANA KOLA

U ovoj glavi će biti opisane električne šeme više predpojačavača, kola za regulaciju boje tona i pojačavača snage. Čitaocima preostaje da, u skladu sa svojim potrebama i mogućnostima, odaberu po jednu šemu svakog od navedenih blokova i spoje ih u kompletan audio-pojačavač, o čemu će biti reci u sledećoj glavi. Naravno to važi za one koji žele da naprave monofonski pojačavač, ljubitelji stereofonije će morati da sve to "pomnože sa dva", o čemu će, takođe, biti reči kasnije.

Za neke od šema dati su i crteži štampanih kola, i pogled sa strane štampe i pogled sa strane komponenata. Na crtežima na kojima je pogled sa strane komponenata, sivom bojom

su prikazane i bakarne linije štampe, mada one sa te strane mogu da se vide samo ako se štampana ploča pravi od kaširanog (presvučenog tankim slojem bakra) vitroplasta, a ne od kaširanog pertinaksa (koji je jeftiniji). Prikazane su zato da bi slika bila jasnija kao i zbog toga da bi mogla da se nacrta štampa, u slučajevima kada nije dat i pogled sa strane štampe. U tom slučaju, na crtež koji predstavlja pogled sa strane komponenata treba staviti komad poluprovidne hartije i prekopirati sve stopice i linije. Zatim se hartija okrene i na njenoj drugoj strani se "pojačaju" stopice i linije. Ovaj crtež predstavlja stranu štampe koja se, na način opisan u drugoj knjizi serije "*Praktična* ELEKTRONIKA", pod nazivom "Praktična realizacija elektronskih uređaja", prenosi na kaširani pertinaks.

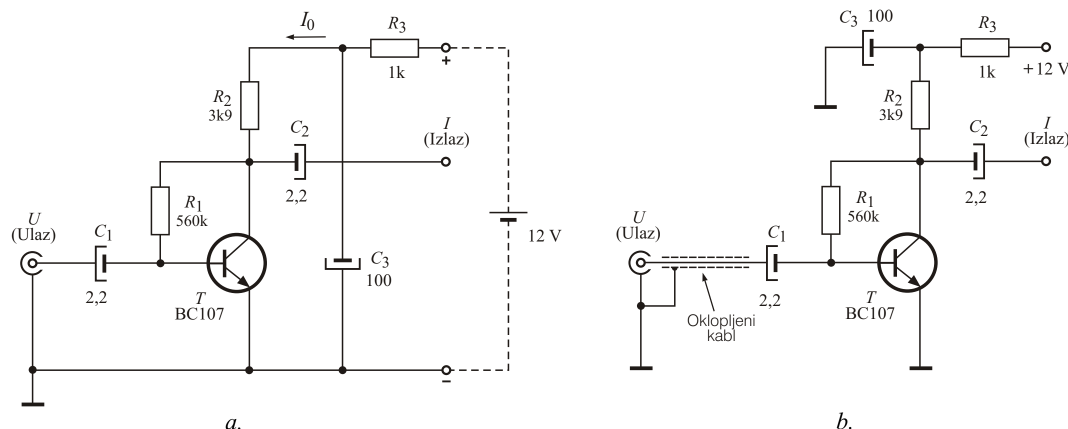
4.1. Predpojačavači i miksete

4.1.1. Najjednostavniji predpojačavači

Električna šema najjednostavnijeg predpojačavača je prikazana na slici 4.1. Jednosmerni napon kojim se ovaj predpojačavač napaja se nalazi u granicama od 9 V do 15 V, a uzima se sa sledećeg stepena (sa kola za regulaciju boje tona) ili direktno sa ispravljača ili baterije. Ako je taj napon dovoljno filtriran i ako nije veći od 15 V, tada kondenzator C_3 i otpornik R_3 nisu potrebni. Šema može da bude još jednostavnija jer kondenzatori C_1 i C_2 mogu da se, pod određenim uslovima, izostave. Ali, ako predpojačavač treba da je univerzalan ipak je najsigurnije da ima sve komponente kao na slici.

Signal koji se pojačava (ulazni signal) se dovodi između levog kraja kondenzatora C_1 i mase, a pojačani signal (izlazni signal) se dobija između desnog kraja kondenzatora C_2 i mase. Ulaz je, kao što se vidi, obeležen slovom *U,* a izlaz

A=79=38dB.................pojačanje
R_{ul}=2,9 k ....ulazna otpornost
f_d=28 Hz................donja granična učestanost
f_g=124 kHz..........gornja granična učestanost
I_0=1,6 mA.................mirna struja



Slika 4.1. Najjednostavniji predpojačavač

slovom *I* i tako će biti na svim sledećim šemama. Ulazni signal se dovodi preko tzv. činč , ili neke druge, utičnice, a veza između nje i štampane ploče na kojoj je C_1 je preko oklopljenog kabla. O ovoj utičnici, oklopljenom kablu i ostalim detaljima koje je neophodno znati biće reči kasnije, u posebnoj glavi. C_1 i C_2 su tzv. kondenzatori za spregu (sprežni kondenzatori). Preko C_1 se ulazni signal dovodi na bazu tranzistora, a preko C_2 se pojačani signal sa kolektora tranzistora vodi na sledeći stepen. Ako na izlazu izvora audio signala postoji sprežni kondenzator, tada C_1 nije potreban. Slično tome, i C_2 je nepotreban ako sprežni kondenzator postoji na ulazu u sledeći stepen.

Jednosmerna struja kroz tranzistor, a od nje zavisi veličina pojačanja tranzistora, kao i veličina šuma koji se stvara u tranzistoru, može da se podešava menjanjem otpornosti otpornika R_1: manja otpornost - veća struja i obrnuto, veća otpornost - manja struja. Znači, kada predpojačavač bude povezan sa sledećim stepenima, menjanjem otpornosti otpornika R_1 (njegovom zamenom otpornikom manje ili veće otpornosti), može da se podešava pojačanje predpojačavača, tako da ono bude što veće, uz minimalna izobličenja i šum. Najjednostavnije je da se umesto R_1 u kolo, pomoću dve žice, privremeno zalemi trimer potenciometar otpornosti oko 2 M . Pojačavač se uključi i na njegov ulaz dovede neki signal, a klizač trimera pomera dok se ne ostvari optimalan rad pretpojačavača. Zatim se trimer izvadi iz kola i izmeri mu se otpornost, a u kolo se zalemi otpornik čija je otpornost približno jednaka izmerenoj vrednosti.

Upotrebljeni tranzistor je BC109, ali umesto njega može da se koristi bilo koji NPN tranzistor male snage koji ima mali šum.

Merenja ostvarena pomoću programa Electronics Workbench, pod pretpostavkom da je ulazna otpornost sledećeg stepena 2 k , a napon baterije 12 V, dala su rezultate prikazane u tabeli na slici 4.1.

Ni jedna od komponenata nije kritična, umesto veličine kao na slici mogu da se koriste i približne.

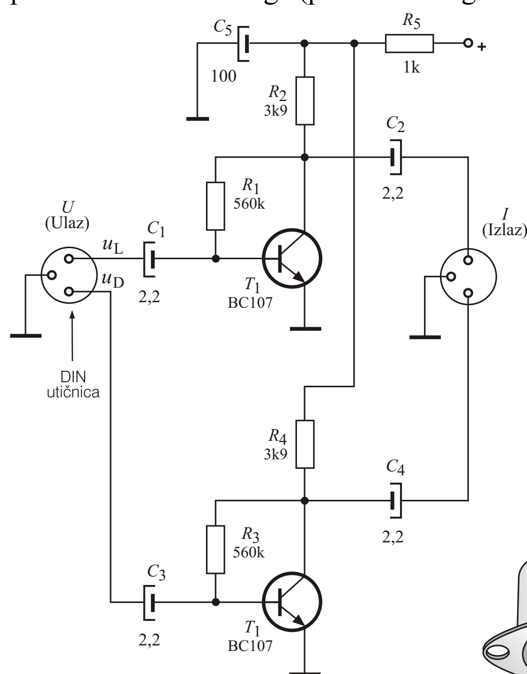
Snaga otpornika je 0,25 W, (četvrtina vata), a radni napon kondenzatora treba da je veći od jednosmernog napona napajanja.

Na slici 4.1 - b je električna šema istog predpojačavača nacrtana na nešto drugačiji način, koji, naročito kad su u pitanju složenije šeme, omogućuje bolju preglednost šeme. Na ovoj slici je i simbol za oklopljeni kabl kojim se signal sa utičnice dovodi na štampanu ploču, u stopicu u kojoj je zalemljen levi kraj kondenzatora C_1.

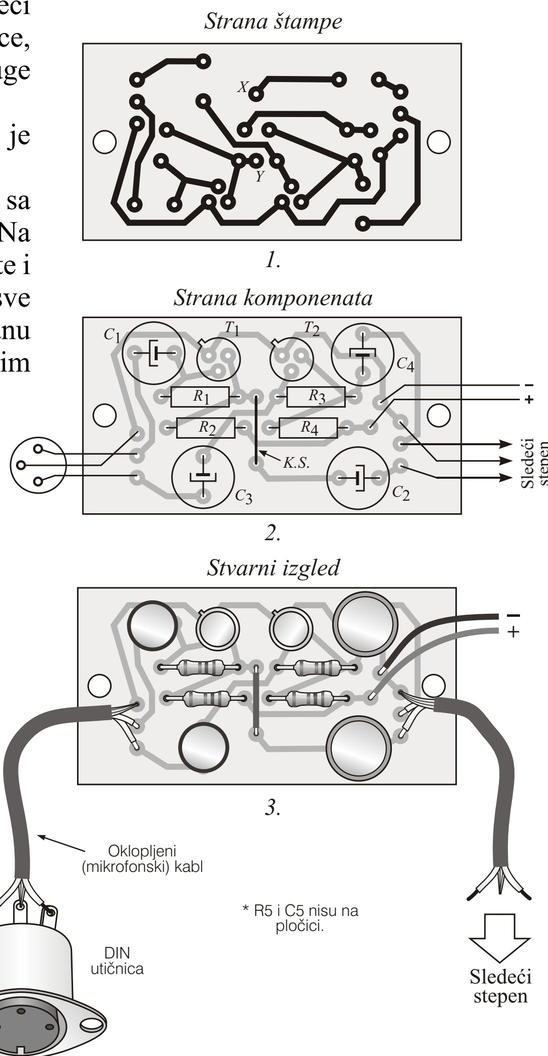
U slučaju stereofonskih uređaja koriste se dva predpojačavača, po jedan za svaki kanal, tada šema izgleda kao na slici 4.2-a. Za dovođenje signala na predpojačavač, kao i za odvođenje signala sa predpojačavača na sledeći stepen, iskorišćene su dve tropolne DIN utičnice, ali umesto njih mogu da se koriste bilo koje druge utičnice (činč i sl.).

Štampana pločica predpojačavača je prikazana na slici 4.2-b.

Na slici 4.2-b-1 je pogled na pločicu sa strane na kojoj su bakarne stopice i linije. Na način opisan u prethodnoj knjizi ("Komponente i praktična realizacija elektronskih uređaja"), sve stopice treba prekopirati na bakarnu stranu pločice od kaširanog (presvu čenog tankim slojem bakra) pertinaksa ili vitroplasta,



Slika 4.2-a. Jednostavan stereofonski predpojačavač



Slika 4.2-b. Štampana pločica predpojačavača sa slike 4.2-a

Na slici 4.2-b-2 je pogled na pločicu sa strane komponenata. Lako se zapaža da je ova slika "odraz u vodi" gornje slike. Ona se dobije tako što se gornja slika okrene odozgo nadole. Sve komponente i pločica su prikazane kao providne da bi se videle i bakarne linije koje su prikazane sivom bojom. Audio signali u_L i u_D koji se pojačavaju se sa utičnice, koja je namontirana na zadnjoj strani kutije u koju je smešten pojačavač, dovodi na pločicu preko oklopljenog (širmovanog) kabla. Jednosmerni napon se dovodi na pločicu sa sledećeg stepena pojačavača pomoću dve obične izolovane žice (+ i –). Ako se pločica na kojoj je sledeći stepen nalazi blizu pločice na kojoj je predpojačavač, tada i veza između izlaza pred-pojačavača i ulaza sledećeg stepena može da se ostvari pomoću komada obične žice. Međutim, ako su ove dve pločice udaljene za više od oko desetak centimetara, pomenuta veza, kojom se signal sa izlaza predpojačavača vodi na ulaz sledećeg stepena, mora takođe da se ostvari pomoću oklopljenog kabla.

Dva kružića na crtežima pločice predstavljaju rupe za zavrtnje kojima se pločica pričvšćuje na svoje mesto u unutrašnjosti kutije u koju je smešten predpojačavač. Sa *K.S.* je obeležen kratkospojnik. To je komad žice čiji su krajevi zalemljeni u stopice obeležene sa *X* i *Y*.

Na slici 4.2-b je crtež na kome je prikazan izgled kompletnog predpojačavača zajedno sa utičnicama i oklopljenim kablovima.

Ulazni signal signal se dovodi sa tropolne DIN utičnice, preko oklopljenog kabla u čijoj se unutrašnjosti nalaze dva posebna provodnika. Žičana mreža, koja obrazuje oklop koji oba provodnika štiti od stranih električnih polja, je zajednički drugi provodnik za oba signala. Ona se, kao i uvek, vezuje za masu uređaja.

Predpojačavač sa slike 4.2-a može da se realizuje i pomoću univerzalne štampane pločice koja ima samo bakarne stopice. Rešenje je prikazano na slici 4.2-c. Gore je pogled na

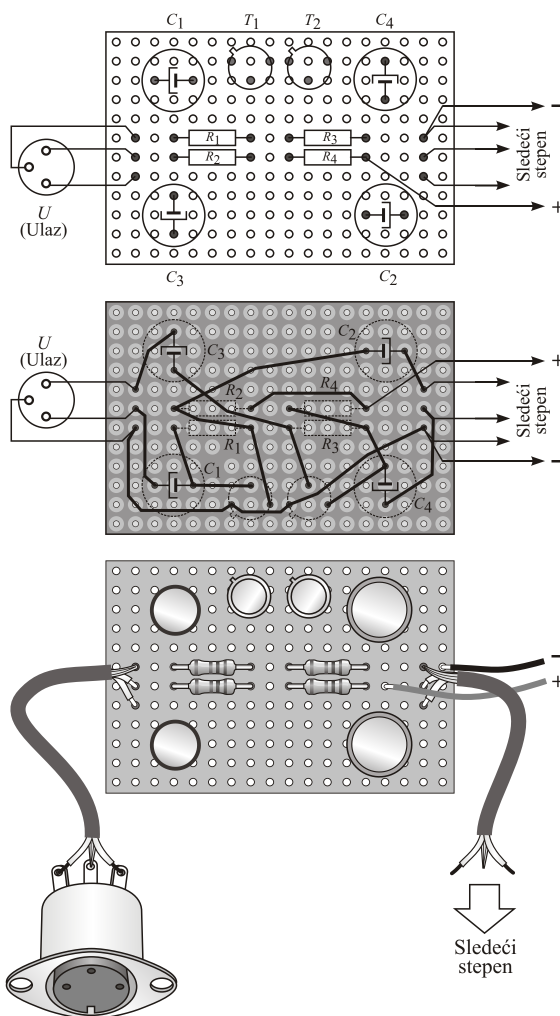
pločicu sa strane komponenata. U sredini je pogled sa strane lemljenja na kojoj se nalaze bakarne stopice. Na ovoj slici su prikazane i žice kojima treba ostvariti potrebne veze. One se ne provlače kroz rupice već se leme u stopice u koje su već zalemljene nožice komponenata. Izuzetak su samo žice kojima se na pločicu dovodi jednosmeran napon. One su provučene kroz rupice, savijene i zalemljene za stopice, pozitivna za stopicu u kojoj je desni kraj otpornika R_4, a negativna za stopicu u kojoj je oklop desnog kabla.

Temperaturna stabilnost predpojačavača sa slike 4.1 je ostvarena naponskom negativnom reakcijom preko otpornika R_1. Ta stabilnost je zadovoljavajuća samo ako se pojačavaju signali čija je amplituda relativno mala. Pri većim amplitudama može da dođe do pojave izobličenja. U takvim slučajevima mnogo bolje rešenje je predpojačavač sa slike 4.3 koji ima znatno bolju temperaturnu stabilnost radne tačke.

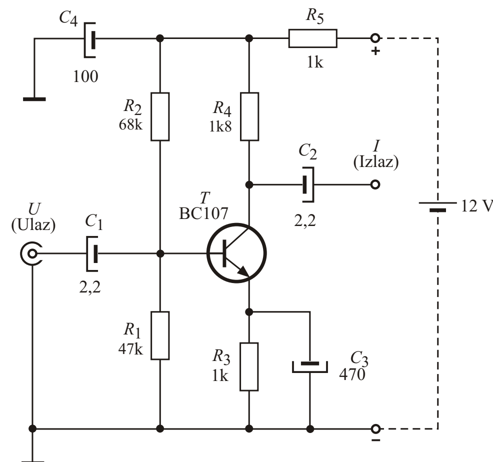
Otpornici su tako proračunati da je jednosmerni napon između baze i emitera U_{BE}=0,7 V, a između kolektora i emitera (U_{CE}) malo manji od polovine napona baterije za napajanje, a kroz tranzistor teče struja (I_C) koja je oko 1 mA. Naknadno podešavanje veličine struje I_C se vrši promenom otpornosti otpornika R_1ili R_2 , ili i R_1 i R_2. Povećanje struje se ostvaruje smanjivinjem R_1 i/ili povećavanjem R_2. Smanjivanje struje se ostvaruje povećavanjem R_1 i/ili smanjivanjem R_2.

Sa baterijom od 12 V, pod pretpostavkom da je ulazna otpornost sledećeg stepena 20 k , merenjem u *EWB*-u dobijeno je:

A=153=44 dB.........pojačanje napona
I_0=2,5 mA.......................mirna struja
R_{ul}=1 k ....ulazna otpornost
f_d=28 Hz..........donja gran. učestanost
f_g=96 kHz.......gornja gran. učestanost



Slika 4.2-c. Predpojačavač sa slike 4.2-a realizovan na univerzalnoj štampanoj pločici



Slika 4.3. Jednostavan predpojačavač

4.1.2. Dvostepeni predpojačavači

Oba prethodno opisana predpojačavača imaju samo po jedan pojačavački stepen čija su pojačanja napona bila A=72 (slika 4.1) i A=64 (slika 4.3.). Ako su ova pojačanja nedovoljna, veće pojačanje se ostvaruje kaskadnim povezivanjem pojačavača. Kao primer, na slici 4.4-a je prikazan dvostepeni predpojačavač koji je dobijen kaskadnim povezivanjem dva jednostepena predpojačavača sa slike 4.3. Ukupno pojačanje je jednako proizvodu pojačanja prvog i drugog stepena:

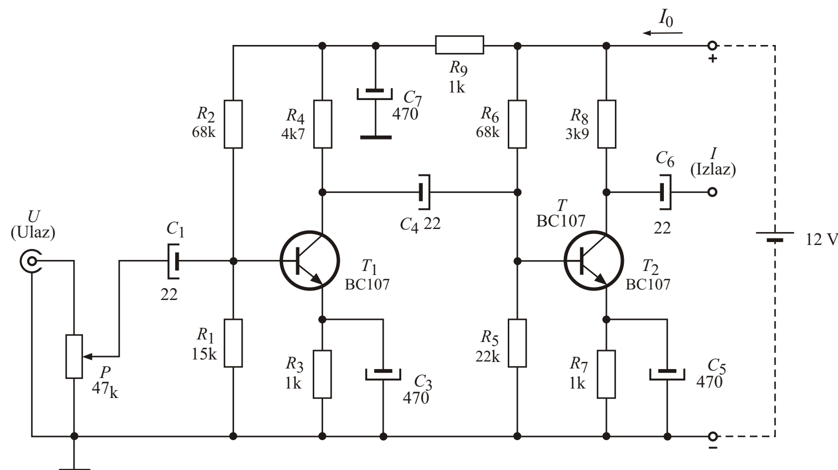
$$A=A_1 \cdot A_2=92 \cdot 81=7452$$

Ako se pojačanja izraze u decibelima tada je:

$$A(\text{dB})=A_1(\text{dB})+A_2(\text{dB})=39+38=77 \text{ dB}.$$

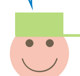
Neke od važnijih karakteristika ovog predpojačavača date su u tabeli na slici 4.4-a.

* Pojačani signal sa izlaza predpojačavača na slici 4.4-a može da se vodi direktno na ulaz pojačavača snage. U tom slučaju potenciometar P se koristi za regulaciju jačine i to treba da bude potenciometar sa logaritamskom promenom otpornosti. (Na kućištu takvih potenciometar se nalazi oznaka "log".)



A=7452=77 dB........................pojačanje
I_0=3,3 mA............................mirna struja
R_{ul}=4,3 k ....ulazna otpornost
THD=8,79.............................klir-faktor
f_d=24 Hz........donja granična učestanost
f_g=82 kHz.....gornja granična učestanost

$A=A_1 \cdot A_2$



$A(\text{dB})=A_1(\text{dB})+A_2(\text{dB})$

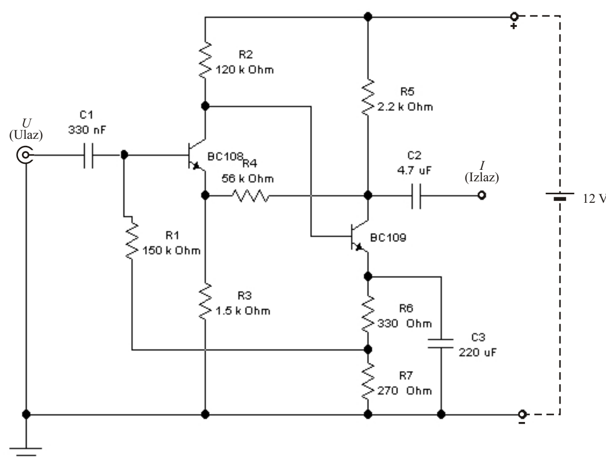


Slika 4.4-a. Jednostavan dvostepeni predpojačavač

* Otpornik R_9 i kondenzator C_7 obrazuju filter propusnik niskih učestanosti sa vrlo niskom graničnom učestanošću koji sprečava da se deo pojačanog signala vrati na ulaz predpojačavača što bi moglo da dovede do pojave oscilovanja.

Najznačajnija karakteristika predpojačavača sa slike 4.4-b je vrlo velika ulazna otpornost (R_{ul}=140 k), pa se, radi ostvarivanja prilagođenja po snazi, koristi u slučaju kada izvor audio signala ima vrlo veliku unutrašnju otpornost. Njegovo pojačanje je 30 dB, što znači da je izlazni signal oko 32 puta veći od ulaznog.

Pomoću otpornika R_2 i R_4 je ostvarena negativna reakcija za jednosmernu struju, kojom se ostvaruje stabilzacija radne tačke oba tranzistora. Preko R_4 je ostvarena i negativna reakcija za naizmeničnu struju koja smanjuje izobličenja i proširuje propusni opseg. Povećavanjem ove otpornosti povećava se pojačanje, ali se povećavaju i izobličenja i



A=30=32 dB
I_0=3,3 mA
R_{ul}=140 k
THD=0,21 %
f_d=14 Hz
f_g=460 kHz

Pokrenite
ELECTRONICS
WORKBENCH,
pa pogledajte primer
PE4-EWB>20.slika4.4a.ewb



Slika 4.4-b. Jednostavan dvostepeni predpojačavač

smanjuje širina propusnog opsega..

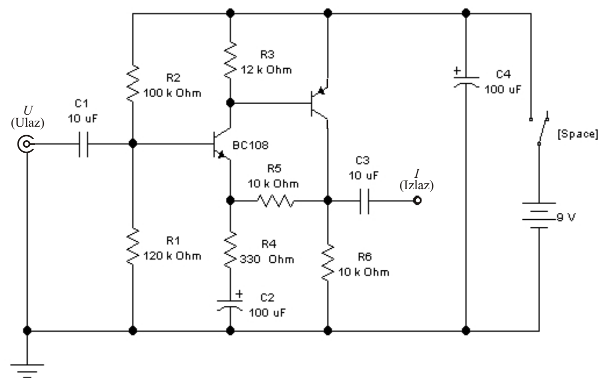
Predpojačavač se napaja jednosmernim naponom veličine od 12 V do 20 V.

Na slici 4.4-c je električna šema predpojačavača koji je svojevremeno napravljen za jednog autorovog prijatelja koji je želeo da za vreme jedne večernje sedeljke pruži svojim gostima priliku da iskažu svoje pevačke mogućnosti. Jedina slobodna utičnica na njegovoj muzičkoj liniji je imala nedovoljnu osetljivost, pa kad bi se na nju priključio mikrofon signal je bio suviše slab, a izlazna snaga pojačavača je bila mnogo manja od potrebne. Prijatelj je imao i jedan poseban uslov, nikako nije želeo da se pojačavač otvara i u njega ugrađuje predpojačavač.

Rešenje je bilo pretpojačavač sa slike 4.4-c čija je glavna prednost bila u tome što ima vrlo malu potrošnju, jednosmerna struja koju vuče iz baterije je samo I_0=0,4 mA, što obezbeđuje izuzetno dugačak vek baterije za napajanje.

Ulazna otpornost predpojačavača je praktično jednaka otpornosti paralelno vezanih R_1 i R_2:

$$R_{ul}=R_1 \cdot R_2/(R_1+R_2),$$



A=25=28 dB
I_0=0,42 mA
R_{ul}=53 k
THD=0,21 %
f_d=14 Hz
f_g=460 kHz

Slika 4.4-c. Jednostavan dvostepeni predpojačavač

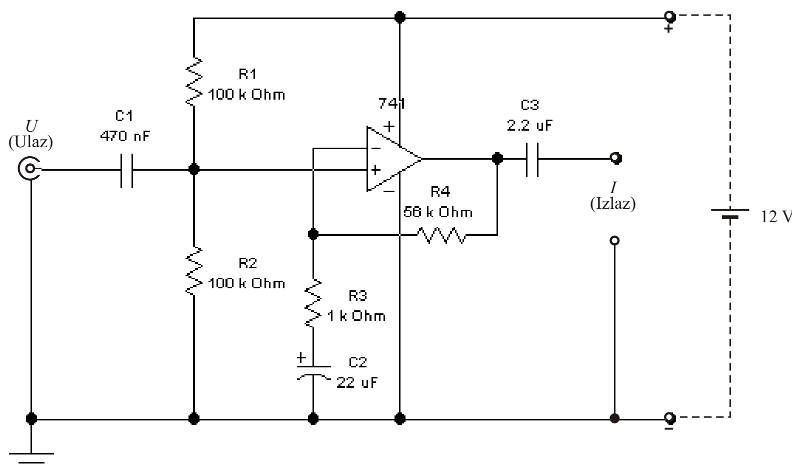
pa, ako je potrebno, može da se smanji smanjivanjem otpornosti R_1 i R_2. Pri tome, da se ne bi pokvarile radne tačke tranzistora, treba, proporcionalno jednako, smanjivati obe otpornosti. Na primer, ako se otpornost R_1 smanji za trećinu, za isto toliko treba smanjiti i otpornost R_2. Ali ovo smanjivanje ima svoju cenu: što su otpornosti manje, veća je jednosmerna struja koju predpojačavač vuče iz baterije.

Na ulaz predpojačavača (*U*) je priključen mikrofon, a pojačani signal sa izlaza (*I*) je, preko utikača i utičnica, odveden na priključnicu na muzičkoj liniji. Rezultat je bila reprodukcija tako glasna, da su i komšije imale priliku da "uživaju" slušajući arije iz opera, starogradske pesme, romanse i slične stvari, sve dok nije stigla policija.

4.1.3. Predpojačavač sa kolom 741

Integrisano kolo 741 (A741, LM741, SN741 itd.) je dobro poznati operacioni pojačavač koji, kao i svi operacioni pojačavači, ima dva ulaza, neinvertujući (obeležen sa +) i invertujući (obeležen sa –). Električna šema predpojačavača sa kolom 741 je prikazana na slici 4.5-a. Ulazni signal se, preko sprežnog kondenzatora C_1, dovodi na neinvertujući ulaz (nožica 3), a pojačani signal se dobija na nožici 6, odakle se, preko sprežnog kondenzatora C_3, vodi na ulaz sledećeg stepena. Deo izlaznog napona se, preko razdelnika napona koji obrazuju R_4 i R_3, vraća na invertujući ulaz, čime je ostvarena negativna reakcija, pa je pojačanje (napona) dato formulom:

$$A=(R_4+R_3)/R_3.$$



A=57=35 dB
I_0=12 mA
R_{ul}=50 k
THD=0,2 %
(pri U_{ul}=10 mV)
f_d=11 Hz
f_g=18 kHz



Slika 4.5-a. Predpojačavač sa operacionim pojčavačem 741

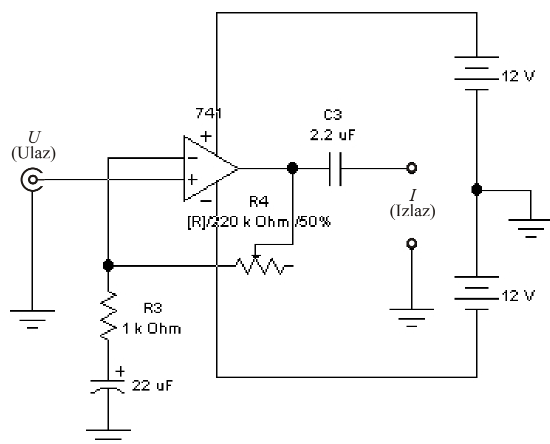
Menjanjem otpornosti R_4 i/ili R_3 moguće je menjati veličinu negativne reakcije, a time i veličinu pojačanja, u vrlo širokim granicama.

Predpojačavač se napaja jednosmernom strujom iz ispravljača iz koga se napajaju i ostali stepeni pojačavača. Minimalna vrednost jednosmernog napona je 12 V, a maksimalna je 36 V.

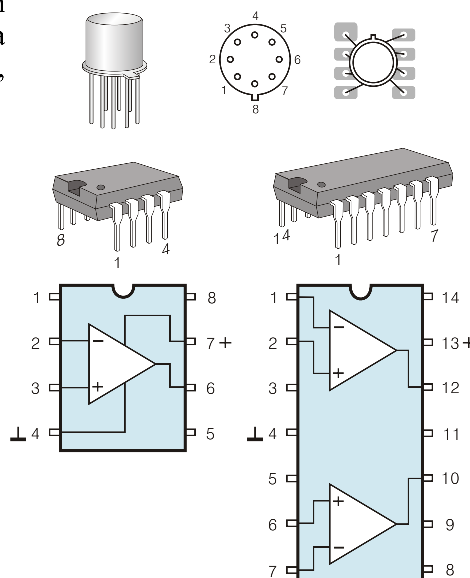
Ovaj predpojačavač može da se koristi i kao kompletan pojačavač za slušalice, koje se priključuju između desnog kraja kondenzatora C_3 i mase. Korisno je da se pojačavač smesti u metalnu kutiju. U tom slučaju veze između pločice i utičnice na ulazu, kao i veze između pločice i priključnice za slušalice, mogu da budu izvedene i običnim žicama.

Za napajanje audio pojačavača velikih snaga često se koriste simetrični ispravljači koji daju dva jednosmerna napona: jedan pozitivan, a drugi negativan u odnosu na masu. Tada se predpojačavač sa operacionim pojačavačem realizuje prema šemi na slici 4.5-b. Pri takvom povezivanju napajanja treba imati u vidu da izvor iz koga se dovodi signal koji se pojačava mora da bude provodan za jednosmernu struju. Ako to nije slučaj tada izmedju + ulaza i mase treba vezati otpornik. Njegova otpornost zavisi od unutrašnje otpornosti izvora ulaznog signala i nalazi se u granicama od nekoliko oma do nekoliko megaooma. Ako se, na

primer, koristi dinamički mikrofon ovaj otpornik nije potreban, ali ako se koristi kristalni mikrofon on je obavezan. Ovaj otpornik je obavezan i kada se, iz bilo kog razloga, koristi sprežni kondenzator, kao C_1 na slici 4.5-a.



Slika 4.5-b. Predpojačavač sa operacionim pojčavačem 741 sa simetrčnim napajanjem

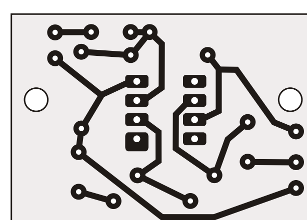


Slika 4.5-c. Pakovanja i raspored nožica kola 741

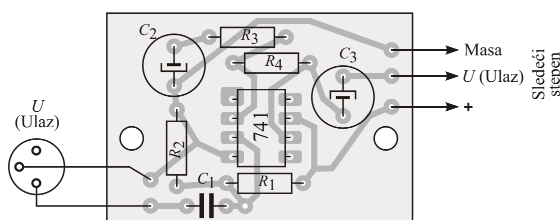
* Pomeranjem klizača potenciometra R4 pojačanje može da se menja u granicama od A=1 (0 dB) do A=221 (47 dB). Ako nije potrebno menjati pojačanje, umesto potenciometra se koristi običan otpornik.

Kolo 741 se proizvodi u više pakovanja (slika 4.5-c). Gore je raspored nožica u metalnom kućištu koje nosi oznaku TO-5. Identifikator je mali ispust pored koga je nožica broj 8. Dole levo je raspored nožica kola u plastičnom kućištu u obliku kovčega. To je DIL-8 pakovanje. Za oba ova pakovanja se pravi ista štampana ploča jer je nožice kola u TO-5 pakovanju moguće saviti tako da sasvim lepo ulaze u stopice raspoređene za kolo u DIL-8 pakovanju. U donjem desnom delu slike 4.5-c je prikazan raspored nožica kola 747, u kome se nalaze dva kola 741, koje može da se koristi u stereofonskim predpojačavačima ili pojačavačima za slušalice. Dva 741 su potpuno nezavisna, mada koriste isto napajanje. Ako se pojačavači izvode po šemi na slici 4.5-a pozitivan pol baterije se priključuje na nožicu 13 a negativan na nožicu 4.

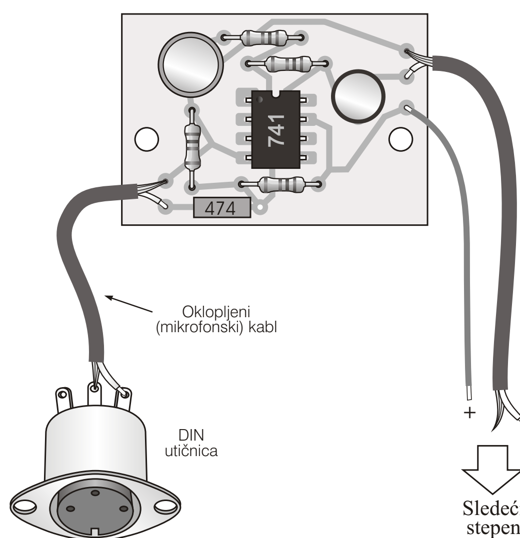
Na slici 4.5-d-1 je crtež štampane pločice predpojačavača u razmeri 1:1. To je pogled na stranu pločice sa na kojoj se nalaze bakarne linije. Popularno, ova strana se naziva strana bakra ili strana lemljenja. Zapazite da je stopica u koju se lemi nožica 1 prikazna malo drugačije od ostalih stopica u koje se leme ostale nožice integrisanog kola, što olakšava pravilno postavljanje kola na pločicu.



1. Strana štampe



2. Strana komponenata



3. Stvarni izgled

Slika 4.5-d. Praktična realizcija predpojačavača sa slike 4.5-a

Suprotna strana se naziva strana komponenata i ona je prikazana na slici 4.5-d-2. Lako se zapaža da je ova slika dobijena tako što se slika 4.5-d-1 okrene odozgo na dole. Štampana pločica je napravljena od kaširanog vitroplasta, koji je poluprovidan pa se kroz njega vide i bakarne linije i stopice, koje su sa suptotne strane. Komponente su prikazane svojim simbolima. Na ovoj slici nema posebnog provodnika kojim bi se pločica spojila sa negativnim krajem jednosmernog izvora napajanja. Potrebna veza je ostvarena preko oklopa (spoljne obloge) mikrofonskog kabla preko koga se izlazni signal vodi na sle-

deći stepen.

Pločica sa komponentama je prikazana na slici 4.5-d-3. Izvor signala koji se pojačava (mikrofon i sl.) se priključuje preko DIN utičnice ali to može da bude i neka drugačija utičnica. Pojačani signal se vodi na sledeći stepen preko mikroonskog kabla. Ako ova veza nije duža od desetak centimetara umesto kabla mogu da se koriste dve obične žice.

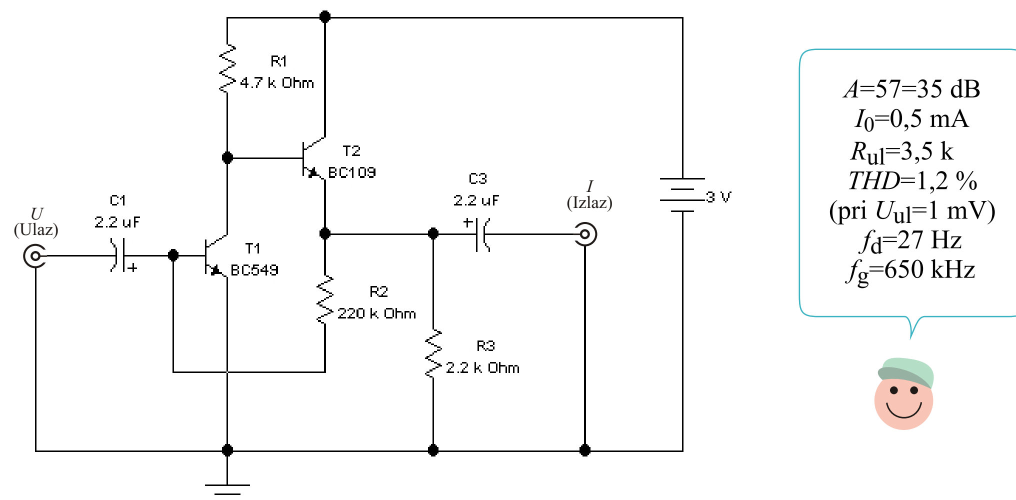
4.1.4. Predpojačavač sa baterijskim napajanjem

Postoje slučajevi kada već izrađeni audio-pojačavač, za neku specijalnu primenu nema dovoljnu osetljivost, a u kutiji u koju je smešten nema dovoljno mesta da bi se ugradio odgovarajući predpojačavač. U tom slučaju treba koristiti poseban predpojačavač, smešten u posebnu kutiju. Izvlačenje napajanja za predpojačavač iz gotovog uređaja nije sasvim prosto jer zahteva bušenje kutije i montažu priključka, što ukazuje da predpojačavač treba da se napaja iz sopstvene baterije i da ima što je moguće manju potrošnju, da bi baterije što duže trajale.

Električna šema takvog predpojačavača prikazana je na slici 4.6-a. On ima dva stepena. Prvi je pojačavač sa tranzistorom BC549C, a drugi je tzv. emiter-folover sa tranzistorom BC547. Uređaj se napaja iz dve redno vezane baterije od 1,5 V. Pojačanje (koje se ostvaruje u prvom stepenu, jer je pojačanje emiter-folovera jednako 0 dB) je između 35 dB (kad su baterije pune) i 28 dB (kad se baterije delimično isprazne pa je ukupni napon oko 2 V). Jednosmerna struja koju predpojačavač vuče iz baterije od 3 V je samo 0,5 mA. Predpojačavač normalno radi dok se, kao posledica pražnjenja, napon obe baterije ne smanji ispod 1 V.

Štamapana ploča, strana komponenata, je prikazana na slici 4.6-b.

Uređaj treba smestiti u metalnu kutiju koja komadom žice treba da je spojena sa masom na štampanoj pločici. To se radi tako što se na kutiji izbuši rupa prečnika 3 mm, u nju



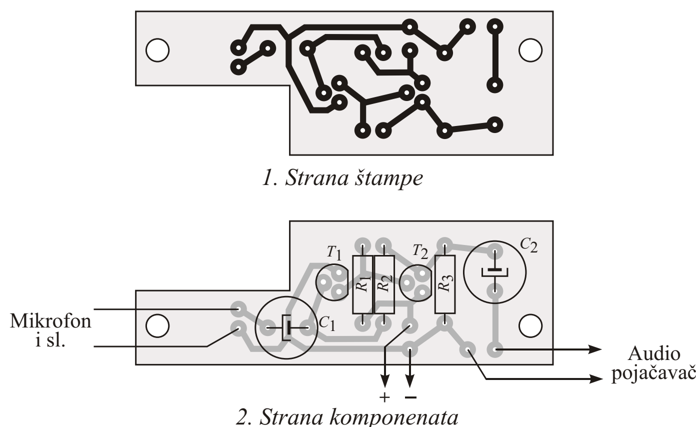
Slika 4.6-a. Predpojačavač sa baterijskim napajanjem

smesti zavrtanj a kraj žice koja ide na masu se obavije oko zavrtnja i ovaj dobro pritegne.

Utičnica se montira na kutiju i u nju se utakne utikač mikrofona ili nekog drugog audio signala. Na drugom kraju oklopljenog kabla kojim se signal vodi u pojačavač montira se utikač koji odgovara utičnici na pojačavaču.

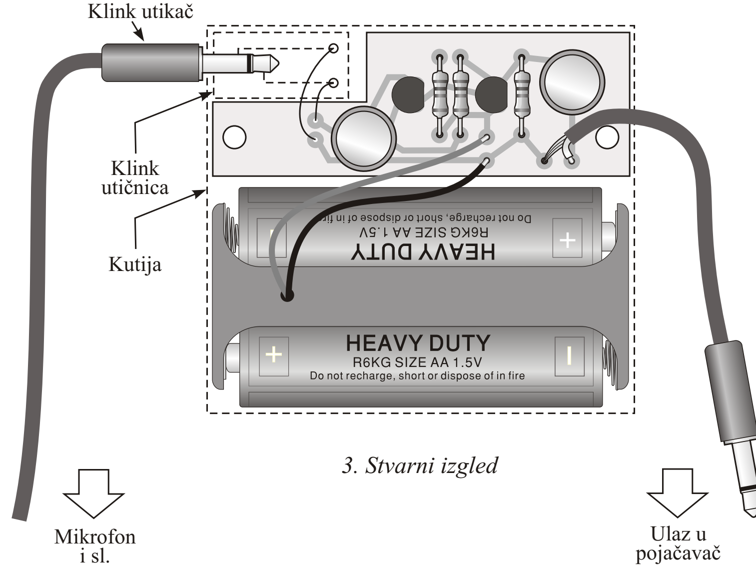
Praktična realizacija je predpojačavača sa slike 4.6-a je prikazna na slici 4.6-b. Razmera je 1:1

Na slici 1 je pogled na pločicu sa strane bakra, a na slici 2 sa strane komponenata. Na slici 3 je kompletan uređaj. Pošto je mikrofon imao tzv. "klink" utikač iskorišćena je i klink



1. Strana štampe

2. Strana komponenata



Slika 4.6-b. Praktična realizcija predpojačavača sa slike 4.6-a

utičnica. Ona nije prikazana na slici. Isprekidanom linijom je samo naznačeno mesto na kome se ona nalazi. Ova utičnica se montira na bočnu stranu kutije u koju je smešten uređaj, a veza sa štampanom pločicom se ostvaruje pomoću dve žice. Ako je utičnica pravljena za direktnu montažu na pločicu tada ovu treba malo modifikovati.

Pojačani signal se vodi na audio-pojačavač takođe pomoću klink utikača. Naravno, prema potrebi moguće je koristiti i neke druge utikače i utičnice.

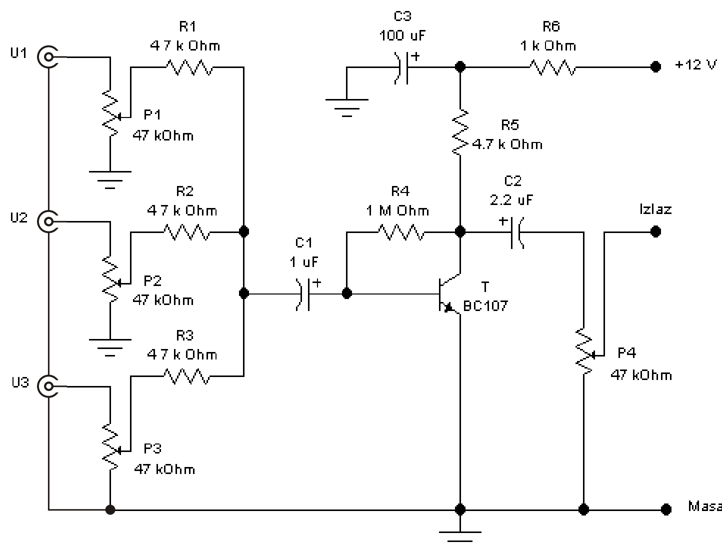
4.1.5. Najjednostavnija mikseta

Mikseta (mešač) je predpojačavač koji ima dva ili više ulaza, što omogućuje da se na audio-pojačavač istovremeno uključi više izvora audio signala i da se njihovi signali spoje (izmešaju) u jedan zajednički signal koji se, zatim, pojačava kroz zajednički pojačavač. Tipičan primer primene miksete je kada se na isti audio-pojačavač priključe mikrofon pevača i više električnih gitara i drugih elektronskih instrumenata. Postoji veliki broj različitih šema mikseta, od sasvim jednostavnih pa do veoma složenih izvedenih sa specijalizovanim integrisanim kolima.

Električna šema najjednostavnije miksete data je na slici 4.7-a. Miksetu čine potenciometri P_1, P_2 i P_3 i otpornici R_1, R_2 i R_3. Kondenzator C_1 i sve ostale komponente predstavljaju jednostavan predpojačavač o kome je već bilo reči. Ova mikseta ima tri ulaza (U_1, U_2 i U_3), ali njihov broj može da bude veći. Treba samo dodati potenciometre i otpornike od 4,7 k čije desne krajeve treba spojiti sa levim krajem kondenzatora C_1. Potenciometrima se reguliše veličina svakog od signala, a otpornici R_1, R_2 i R_3 sprečavaju da svi signali "odu na masu" kada je klizač jednog potencimetra u krajnjem donjem položaju (a on je u tom položaju da se signal sa tog ulaza ne bi čuo). Pomeranjem klizača na dole udeo signala koji je doveden na taj potenciometar u zbirnom signalu je manji, a pomeranjem klizača nagore - veći.

Potenciometar P_4 služi za podešavanje veličine zbirnog signala koji se šalje na sledeći stepen audio-pojačavača.

Vrednosti komponenata nisu kritične, moguće je koristiti i približne. Umesto BC107 može da se koristi bilo koji TUN (univerzalni NPN tranzistor male snage o kome je bilo reci u "P.E. 1"). Ako se koristi baterija sa drugačijim naponom, podešavanje optimalnog rada tranzistora se ostvaruje na već opisani način, promenom otpornosti R_4.

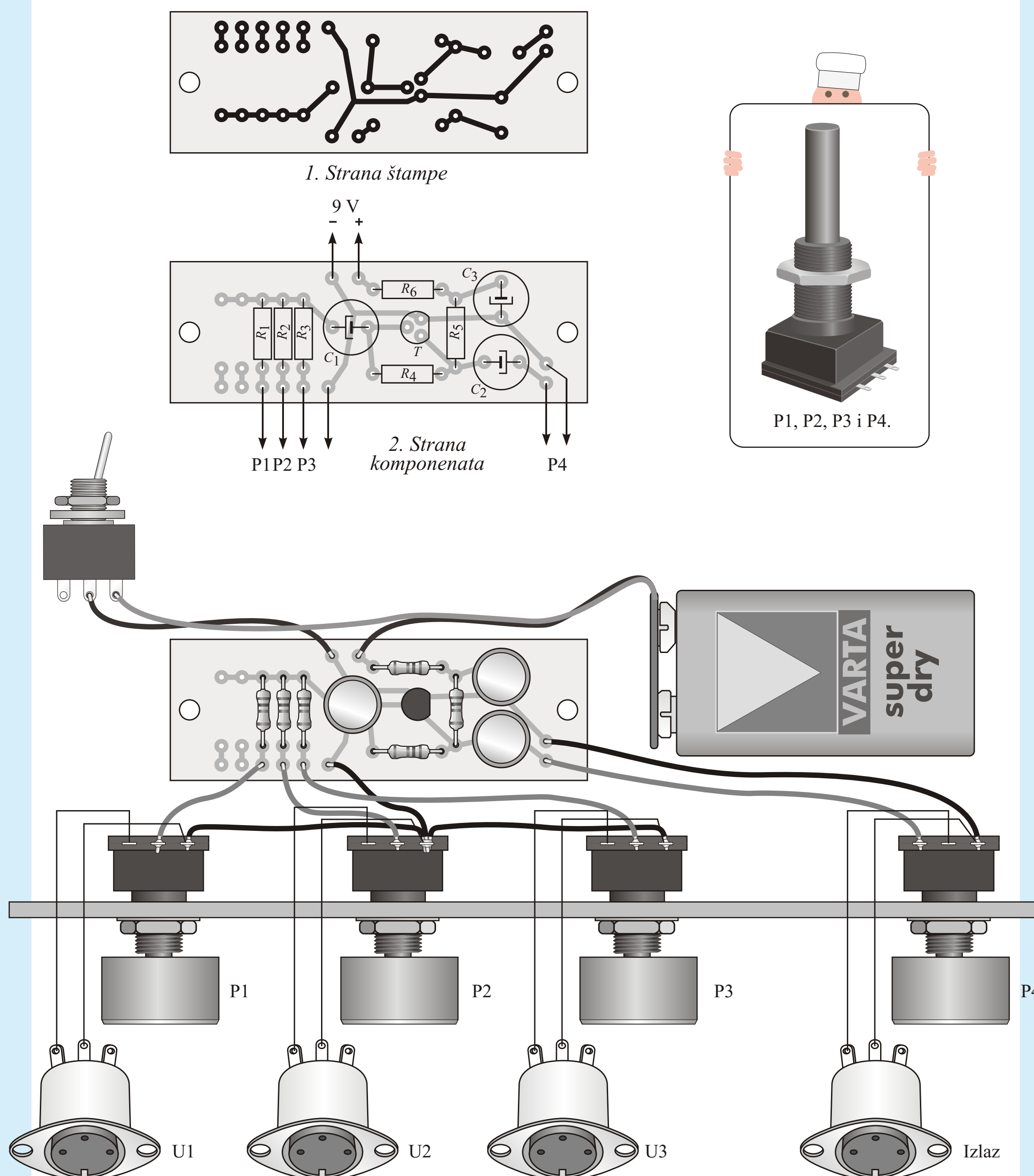


Slika 4.7-a. Najjednostavnija mikseta

Uređaj je ispitan sa baterijom 12 V i tada je pojačanje A=21, ali može da radi i sa manjim naponima s tim što je tada i pojačanje manje. Otpornik R_6 i kondenzator C_3 obrazuju filter propusnik niskih učestanosti kojim se sprečava da se iz sledećih stepena pojačavača, preko pozitivnog voda napajanja, vrati deo pojačanog signala, što bi dovelo do nestabilnog rada pa čak i do oscilovanja pojačavača. Ako se mikseta pravi kao poseban uređaj koji se napaja iz svoje baterije tada R_6 i C_3 nisu neophodni.

Štampana pločica i šema veza sa potenciometrima i sledećim stepenom dati su na slici 4.7-b. Potenciometri i utičnice su montirani na prednjoj strani kutije u koju je smešten kompletan uređaj (sl. 4.7-c). Ako se koriste potenciometri koji su smešteni u metalna kućišta tada ova kućišta treba "uzemljiti" (spojiti ih sa masom na štampanoj pločici).

Ako ovu miksetu nameravate da koristite kao nezavistan uređaj sa koga ćete signal da vodite na neki već sagrađeni pojačavač, treba je smestiti u metalnu kutiju (koja treba da



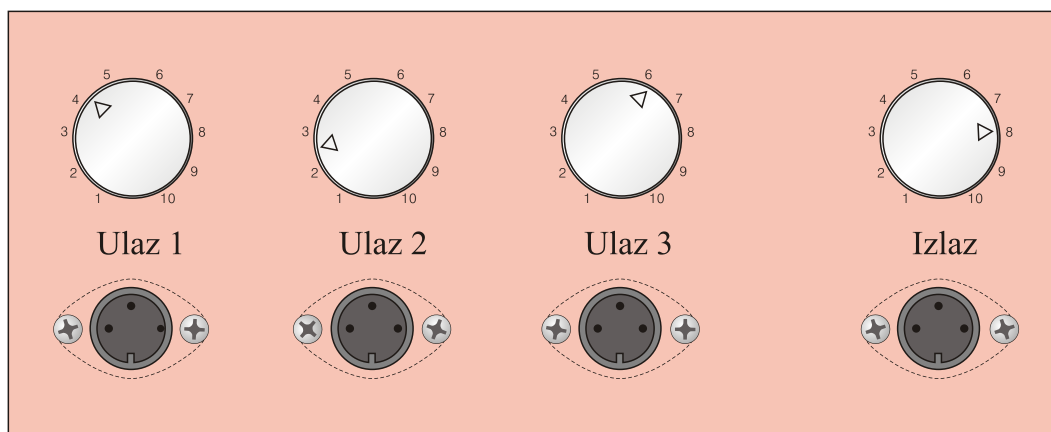
Slika 4.7-b. Praktična realizacija najjednostavnije miksete

bude povezana sa masom, pomoću zavrtnja, kao u prethodnom projektu), a za napajanje treba koristiti bateriju od 9 V. Jednosmerna struja koju pojačavač vuče iz baterije je manja od 1 mA, što garantuje vrlo dug vek baterije.

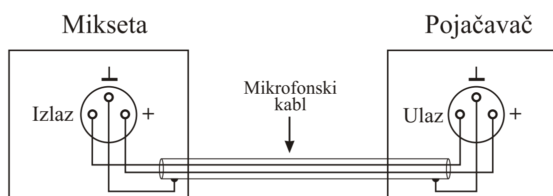
Naravno, potrebno je ugraditi i jedan prekidač za uključivanje i isključivanje baterije.

* Veze između potenciometara i pločice na slici 4.7-b su ostvarene običnim žicama jer su rastojanja mala. Ako se pločica nalazi daleko od potenciometara tada sve veze treba ostvariti pomoću mikrofonskih kablova, kao u prethodnim primerima.

* Da slika 4.7-b ne bi bila pretrpana i nepregledna, veze između utičnica i potenciometara su prikazane simbolično.



Slika 4.7-c. Prednja ploča najjednostavnije miksete



Slika 4.7-d. Napajanje miksete preko mikrofonskog kabla

* Stopice levo od R_1 na slici 4.7-b su predviđene za montažu još dva otpornika od 4,7 k , u slučaju da mikseta treba da ima pet ulaza.

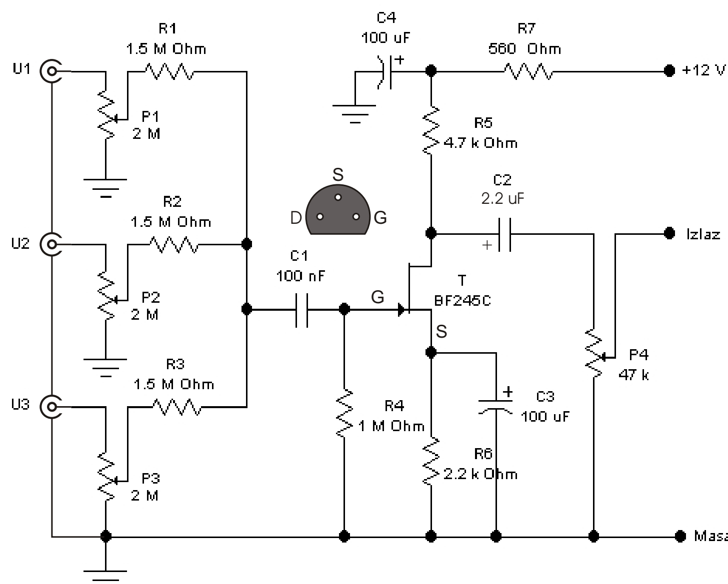
* Dobra strana rešenja sa slike 4.7-b, u kome se mikseta napaja iz baterije, je u tome što je napon baterije 100% jednosmeran, bez ikakvog napona učestanosti 50 Hz ili 100 Hz, koji postoje na izlazu svakog ispravljača, a koji se kod audio-pojačavača nazivaju "brum" i manifestuju se kao brujanje u zvučniku. Naročito je značajno da brum koji stiže na predpojačavač bude što manji jer se on pojačava kroz sve stepene pojačavača.

Ali, napajanje iz baterije je mnogo manje ekonomično od napajanja iz gradske mreže, a zahteva i stalnu brigu o stanju baterije. Napajanje miksete sa slike 4.7-b preko ispravljača može da se ostvari na dva načina. Prvi je da se mikseti doda poseban ispravljač a drugi je da se napajanje dovodi iz audio-pojačavača na koji je priključena mikseta. U ovom, drugom, slučaju, ako se koriste DIN utičnice postoji mogućnost da se treća nožica jedne od utičnica koristi za dovođenje jednosmernog napona. Šema veza je data na slici 4.7-d. Kao što se vidi, koristi se oklopljeni mikrofonski kabl sa dva unu-trašnja provodnika. Podrazumeva se da je negativan kraj ispravljača u pojačavaču spojen sa masom.

4.1.6. Najjednostavnija mikseta sa FET-om

Vrlo velika ulazna impedansa FET-a omogućuje izradu predpojačavača i mikseta koji imaju vrlo veliku ulaznu impedansu tako da na njihov ulaz mogu da se priključe izvori audio signala koji imaju vrlo veliku unutrašnju otpornost (kristalni i kondenzatorski mikrofoni, kristalne gramofonske zvučnice i sl.), mada na njih mogu da se priključe i izvori sa manjim unutrašnjim otpornostima.

Električna šema miksete sa FET-om prikazana je na slici 4.8. (Po istoj šemi, izostavljanjem potenciometara i otpornika R_1, R_2 i R_3 može da se napravi i predpojačavač sa vrlo velikom ulaznom otpornošću.) Upotrebljeni tranzistor je popularni N-kanalni FET za



Slika 4.8. Najjednostavnija mikseta sa FET-om

opštu upotrebu sa oznakom BF245C. Raspored njegovih nožica je dat na slici. Moguće je koristiti i neki drugi FET, kao, na primer, 2N3819, 2N5457, MPF103, MPF104, B i sl., ali tada treba obratiti pažnju na raspored nožica koji nije uvek kao na slici.

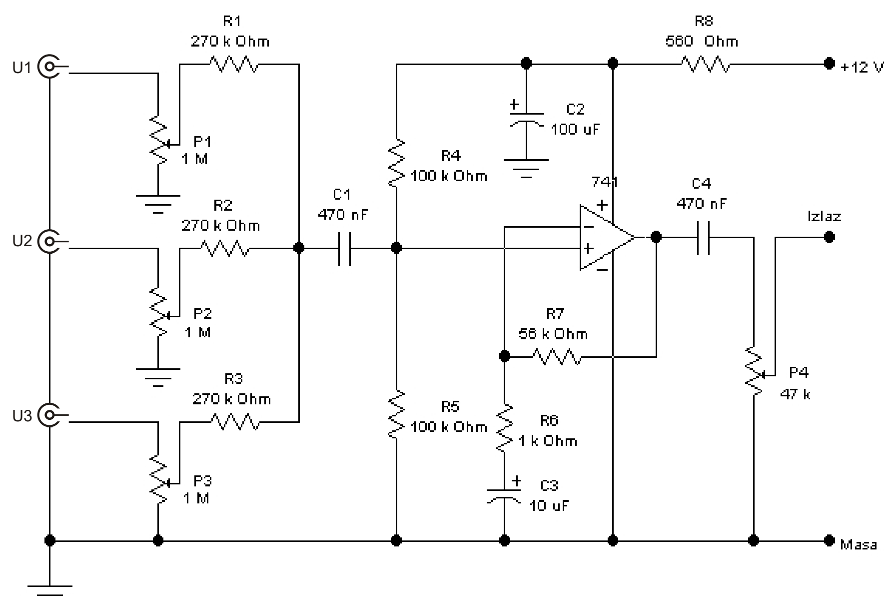
Praktična realizacija se obavlja na skoro isti način kao i realizacija prethodnog projekta, s tim što na štampanoj pločici treba izvesti male promene.

4.1.7. Mikseta sa operacionim pojačavačem 741

Ova mikseta čija je električna šema prikazana na slici 4.9-a ima tri ulaza koji omogućavaju da se na audio-pojačavač istovremeno priključe tri izvora audio-signala i da se njihovi signali istaknu ili potisnu tako da se ostvari potreban zbirni signal. Zbirni signal se dobija u tački u kojoj su spojeni desni krajevi otpornika R1, R2 i R3. Desno od te tačke je predpojačavač sa kolom 741, o kome je već bilo reči. Broj ulaza može da se poveća jednostavnim dodavanjem potenciometara i razdvojnih otpornika od 270 k .

Potenciometrom P4 se podešava potreban nivo zbirnog signala koji se vodi na sledeći stepen. Ovo podešavanje može da se ostvari i tako što što se P4 izostavi a umesto R7 se koristi logaritamski potenciometar, kao na slici 4.5-b. Ako je otpornost potenciometra 100 k , tada pojačanje može da se menja od 1 do 101.

Pri praktičnoj realizaciji ove miksete može da se koristi štampano kolo sa slike 4.5-d, a povezivanje pločice sa potenciometrima može da se obavi po crtežu na slici 4.7-b.



Slika 4.9-a. Mikseta sa operacionim pojačavačem 741

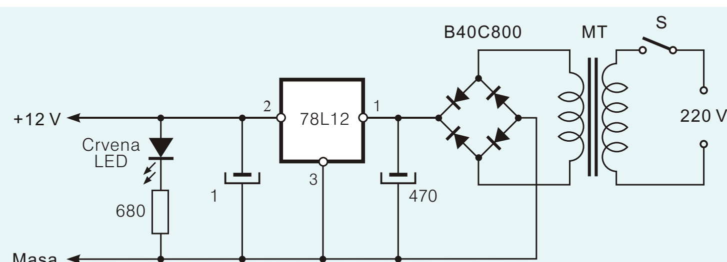
4.1.8. Ispravljač za predpojačavače i miksete

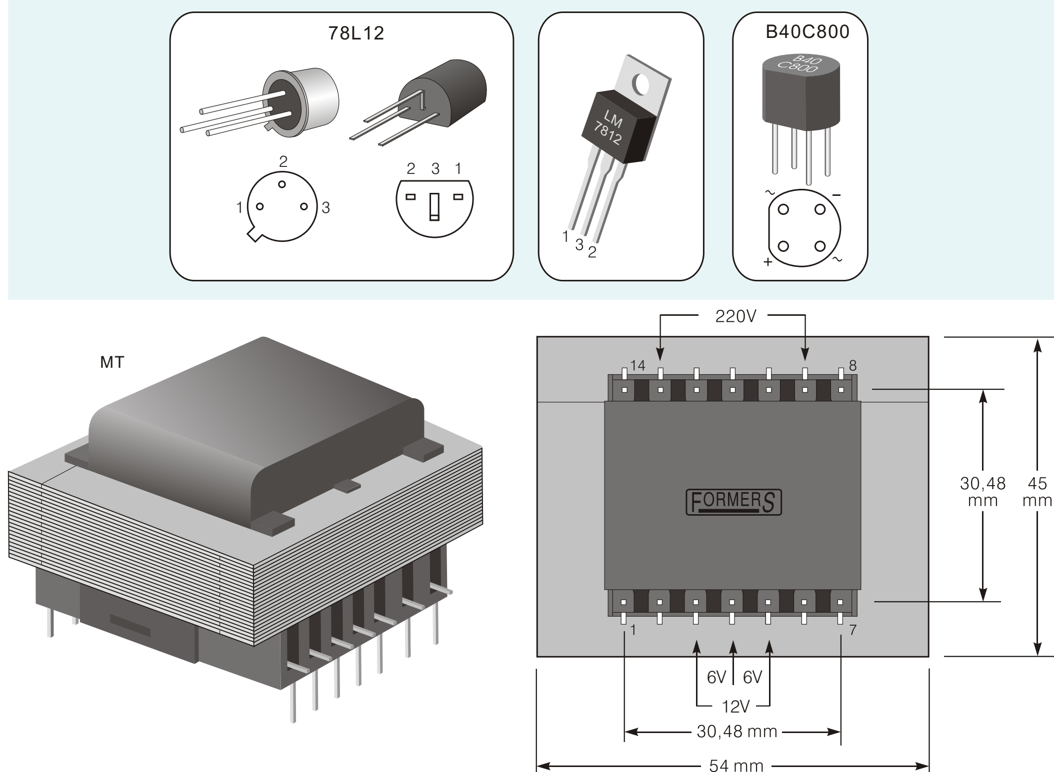
Kada se predpojačavač ili mikseta koriste kao posebni uređaji, koji se prema potrebi povezuju sa audio-pojačavačem, oni imaju posebno napajanje, nezavisno od napajanja pojačavača. Ovo napajanje može da bude iz baterije ili iz ispravljača. Jedan od ispravljača koji može da se iskoristi u tu svrhu je prikazan na slici 4.9-b. Kao MT može da se koristi minijaturni transformator bilo koje snage veće od 1 W sa sekundarnim naponom od 12 V do 18 V.

Stabilizacija napona se ostvaruje pomoću stabilizatora 78L12 ali može da se koristi bilo koji drugi stabilizator za 12 V, kao što je 7812 i sl.

U srednjem delu slike 4.9-b su prikazani izgled i raspored nožica upotrebljenih poluprovodničkih komponenata, a u donjem delu izgled i raspored nožica mrežnog transformatora.

Transformator je napravljen za montažu na štampanu pločicu. Sve njegove nožice su, kako se to popularno kaže, u rasteru. To znači da su rastojanja između nožica jednaka proizvodu celog broja i 2,54 mm, što može da se proveri na crtežu u donjem desnom uglu, na kome je, u razmeri 1:1, prikazan izgled transformatora sa donje strane.





Slika 4.9-b. Električna šema i komponente ispravljača za predpojačavače i miksete

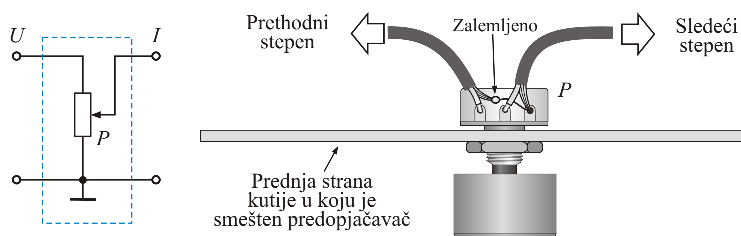
Snaga ovog transformatora je 13 W što je mnogo veće od potrebne vrednosti. Sa gledišta ekonomičnost i minijaturnosti uređaja bolje je koristiti transformator manje snage.

4.2. Regulacija jačine i boje tona

4.2.1. Regulacija jačine

Regulacija jačine u audio-pojačavačima se obavlja pomoću potenciometara sa logaritamskom promenom otpornosti. (Na metalnom kućištu ovih potenciometara, pored oznake veličine otpornosti, upisana je i oznaka LOG.) Na slici 4.10-a potenciometar za regulaciju jačine *P* je prikazan kao blok koji, kao i ostali blokovi pojačavača, ima dva ulazna priključka (između tačke *U* i mase) i dva izlazna priključka (između tačke *I* i mase). Tako posmatran, potenciometar *P* može da se priključi, ispred predpojačavača, između predpojačavača i kola za regulaciju boje tona ili između kola za regulaciju boje tona i pojačavača snage.

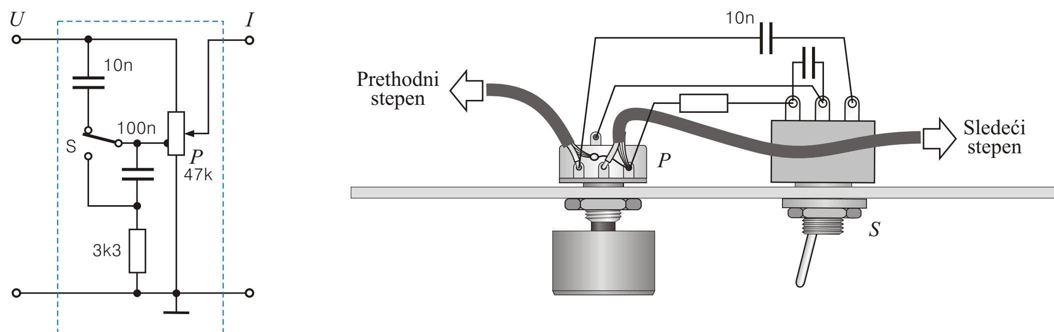
Potenciometar za regulaciju jačine se sa prethodnim i sledećim stepenom pojačavača povezuje oklopljenim kablovima, kao što je prikazano na slici 4.10-a. Na ovoj slici, iskorišćen je rotacioni potenciometar koji je namontiran na prednjoj strani kutije u koju je smešten audio-pojačavač. Veze sa prethodnim i sledećim stepenom, ako nisu duže od oko deset santimetara, kao i u slučaju ostalih blokova, mogu da se ostvare i običnim žicama. Ako se koristi potenciometar u metalnom kućištu, kao što je na slici, kućište mora da bude povezano sa masom uređaja, da bi delovalo kao Faradejev kavez, koji sprečava da smetnje dođu na potenciometar. Na slici 4.10-a to je ostvareno tako što je jedan kraj komada žice zalemljen za ušicu potenciometra (krajnju desnu) koja je (preko kabla) spojena sa masom



Slika 4.10-a - Regulacija jačine

uređaja, a drugi kraj je zalemljen za kućište. U istu tačku je zalemljen i jedan kraj kabla kojim je potenciometar povezan sa prethodnim stepenom. (Postoje potenciometri koji na kućištu imaju posebnu (četvrtu) ušicu koja je predviđena za pomenuto povezivanje sa masom i nju svakako treba koristiti.)

Ranije, u delovima teksta u kojima se spominje slika 1.4, bilo je reči o tome da kad se jačina reprodukcije neke muzike promeni, slušaoci imaju utisak da se i boja tona promenila. Zbog toga, da bi boja tona ostala onakva kakva im odgovara, slušaoci bi morali pri svakoj promeni jačine da doteruju i boju tona. Naravno da to nije praktično, pa su napravljena kola



Slika 4.10-b - regulacija jačine i glasnosti

koja obezbeđuju da, pri pomeranju klizača potenciometra za regulaciju jačine reprodukcije, promena pojačanja za tonove srednjih učestanosti ne bude ista kao za tonove niskih i visokih učestanosti. To su kola za kontrolu glasnosti (Loudness Control). Tipično rešenje je prikazano na slici 4.10 - b. Potenciometar za regulaciju jačine *P* ima izvod na jednoj desetini otpornosti. (Na primer ako je ukupna otpornost potenciometra 50 k , tada je otpornost između izvoda i mase 5 k , a otpornost od izvoda do gornjeg kraja potenciometra je 45 k .) Kolo za regulaciju glasnosti obrazuju kondenzatori od 10 nF i 100 nF i otpornik od 3,3 k . Kada se preklopnik *S* prebaci u donji položaj, kolo za regulaciju glasnosti je isključeno. Ako se želi da je kolo za regulaciju glasnosti uvek uključeno, a to je najčešći slučaj, prekidač *S* nije potreban. U tom slučaju, donji kraj kondenzatora od 10 nF treba spojiti sa izvodom i gornjim krajem kondenzatora od 100 nF.

4.2.2. Regulacija boje tona (RBT)

Kola za regulaciju boje tona su kola pomoću kojih se prenosna karakteristika pojačavača (zavisnost pojačanja od učestanosti) menja i podešva prema potrebama i ukusu korisnika.

U praktičnim rešenjima uređaja u kojima se koriste audio-pojačavači (radio-prijemnici, TV prijemnici i sl.) mogu da se vide različita kola za regulaciju boje tona, počevši od onih sasvim jednostavnih, koja se sastoje od samo jednog kondenzatora i jednog prekidača, pa do veoma složenih sa više integrisanih kola. U tekstu koji sledi biće date električne šeme više kola, i jednostavnih i složenijih, a čitaocima se ostavlja da se reše za neko od njih, za ono koje je najednostavnije, a zadovoljava njihove potrebe.

Kao i kod predpojačavača, ulaz u kola za RBT i regulaciju jačine, je obeležen sa *U* a izlaz sa *I*, a to znači da se signal iz prethodnog stepena (predpojačavač ili mikseta) dovodi između tačke obeležene sa *U* i mase, a signal koji se vodi na sledeći stepen se uzima između tačke obeležene sa *I* i mase. Jednostavno, tačku koja je na kolu za RBT obeležena sa *U* treba spojiti sa tačkom koja je na prethodnom stepenu obeležena sa *I*, a tačku koja je na kolu za RBT obeležena sa *I* treba spojiti sa tačkom koja je na sledećem stepenu obeležena sa *U*. Masu kola za RBT treba sa jedne strane (leve na crtežima električnih šema) treba spojiti sa masom prethodnog stepena, a sa druge (desne) sa masom sledećeg stepena. U tzv. aktivnim kolima za RBT postoji i tačka obeležena sa +. Levo od ove tačke obično je otpornik. (Tako je i u predpojačavačima, na primer R_8 na slici 4.9-a.) Napajanje (+ pol) za prethodni stepen uzima se sa levog kraja ovog otpornika, a desni se spaja sa odgovarajućom tačkom u narednom stepenu. O svim ovim povezivanjima biće reči kasnije, u petoj glavi.

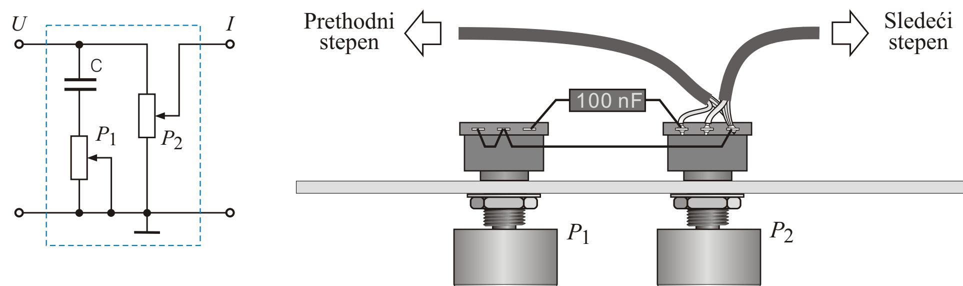
4.2.2.1. Pasivna kola za regulaciju boje tona

Pasivna kola za regulaciju boje tona sastoje se isključivo od pasivnih komponenata, otpornika, potenciometara i kondenzatora. Njihove dobre strane su mali broj komponenata, jednostavna konstrukcija i niska cena, a glavni nedostatak su prilično veliki gubici. (To znači da je signal na njihovom izlazu manji od signala na ulazu.) Približno, gubici su jednaki maksimalnom izdizanju pojačanja koje tim kolom može da se ostvari. Na primer, u jednom kolu koje će kasnije biti analizirano maksimalno izdizanje (i potiskivanje) je 20 dB, pa su gubici koje to kolo unosi jednaki 20 dB. Nadoknađivanje gubitaka vrši se ili u prethodnom stepenu (u predpojačavaču) ili u sledećem (pogonski stepen). Regulacija boje tona se obavlja pomoću linearnih potenciometara koji na svom kućištu imaju oznaku LIN.

Na slici 4.11 su električna i montažna šema jednog vrlo jednostavnog kola za regulaciju boje tona u oblasti visokih učestanosti. Ono se sastoji od linearnog potenciometra P_1 čija je otpornost od 50 k do 100 k , i kondenzatora *C* čija je kapaci-tivnost od 50 nF do 100 nF. Kada se klizač potenciometra pomera nagore, signali visokih učestanosti bivaju sve više potisnuti (oslabljeni) u odnosu na signale nižih učestanosti. Ako je potiskivanje suviše veliko, treba smanjiti kapacitivnost kondenzatora *C*. Obrnuto, ako je potiskivanje nedovoljno, treba probati sa kondenza-torom veće kapacitivnosti.

Potenciometrom P_2 se vrši regulacija pojačanja pojačavača.

U desnom delu slike prikazan je jedan od načina povezivanja potenciometara sa prethodnim i sledećim stepenom pojačavača.



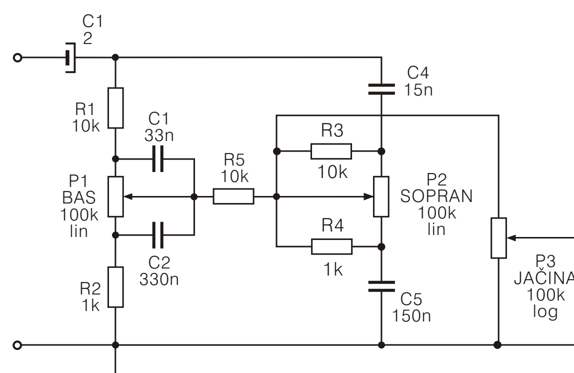
Slika 4.11. Regulacija boje tona i jačine.

Postoje i jednostavna kola za regulaciju boje tona u oblasti niskih učestanosti. U praksi se, ipak, najčešće koristi kolo čija je električna šema prikazana na slici 4.12. Pomoću potenciometra BAS se vrši regulacija pojačanja u oblasti niskih učestanosti: pri pomeranju klizača nagore pojačanje raste, a pri pomeranju nadole pojačanje se smanjuje. Na isti način se, pomoću potenciomatra SOPRAN, vrši regulacija pojačanja u oblasti visokih učestanosti. Potenciometar JAČINA služi za regulaciju jačine, a signal koji postoji između njegovog klizača i mase vodi se na sledeći stepen.

Frekvencijska karakteristika kola za regulaciju boje tona sa slike 4.12-a prikazana je na slici 4.12-b. Kriva 1-2 važi za slučaj kada su oba potenciometra u krajnjim gornjim položajima, kriva 3-4 u srednjim i kriva 5-6 u donjim.

Ako je potrebna regulacija samo u oblasti niskih učestanosti, tada treba izostaviti C_4, C_5, R_3, R_4 i potenciometar SOPRAN, a ako je potrebna samo regulacija u oblasti visokih učestanosti, treba izostaviti R_1, R_2, R_5, C_2, C_3 i potenciometar BAS.

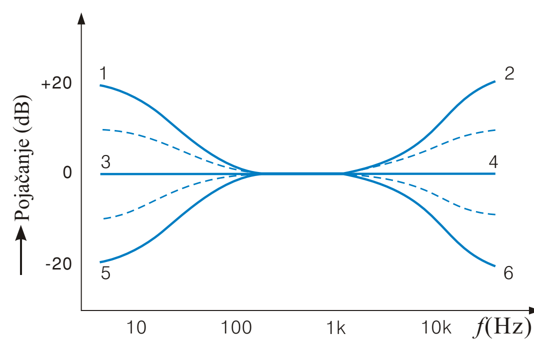
Praktična realizacija kola sa slike 4.12 mogla bi da se obavi na sličan način kao na slici 4.11. Oba potenciometra bi trebalo montirati na prednjoj strani kutije u koju je smešten pojačavač i između njihovih ušica zalemiti sve otpornike i kondenzatore. Ali, to je prilično rogobatno rešenje, mnogo je lepše ako se svi otpornici i kondenzatori smeste na štamapanu pločicu, kao što je prikazano na slici 4.13.



Slika 4.12-a. Kolo za regulaciju boje tona

Sve komponente kola za RBT, osim potenciometara, mogu da budu montirane na štampanu ploču, a veze sa potenciometrima, prethodnim i sledećim stepenima treba da su pomoću oklopljenih kablova. Ako se kolo koristi kao poseban sklop, koji nameravate da priključite nekom gotovom audio-pojačavaču, treba koristiti metalnu kutiju, a vezu sa pojačavačem ostvariti prema uputstvima datim u projektu 4.1.4.

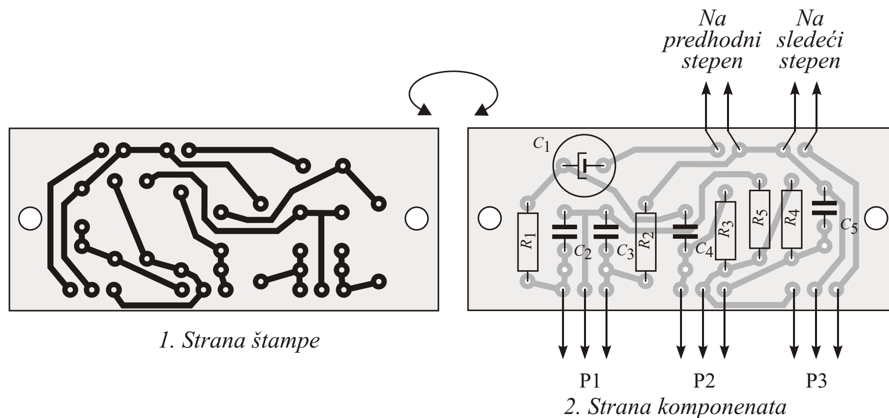
U stereofonskom audio-pojačavaču potrebna su dva posebna kola za regulaciju boje tona. Ako se u tu svrhu koristi rešenje sa slike 4.12, potrebna su dva takva kola, kao što je prikazano na slici 4.14. Potenciometar P_3 služi za balansiranje (izjednačavanje pojačanja u oba kanala). Njegov klizač se vezuje za masu (koja je ista za oba kanala) a krajevi za iste tačke u oba kanala. Kada su pojačanja u oba kanala potpuno jednaka, klizač potenciometra se

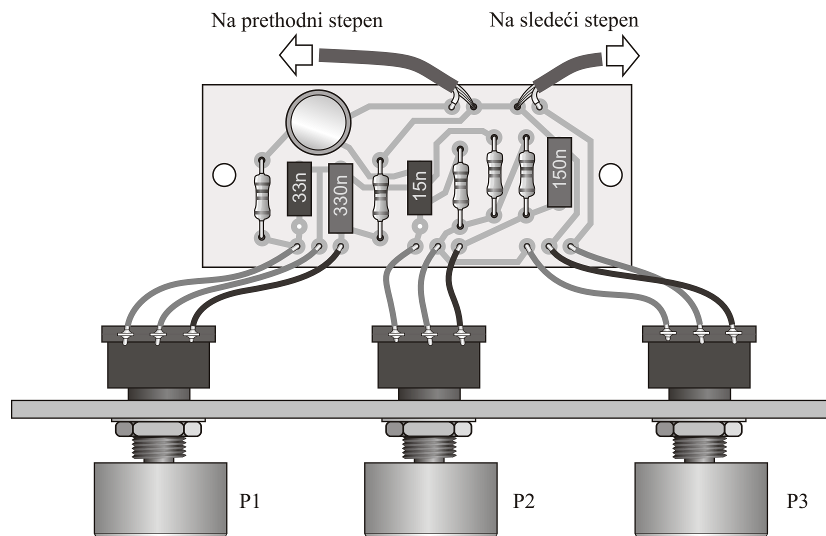




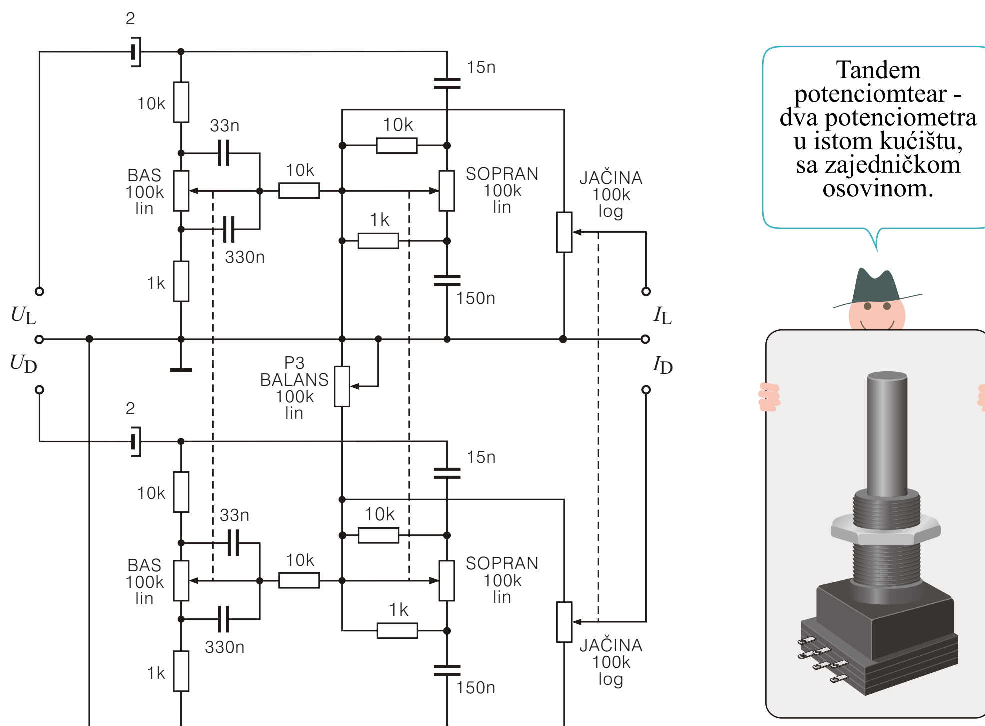
Slika 4.12-b. Frekvencijska karakteristika kola sa slike 4.12-b

nalazi tačno na sredini. Pri pomeranju klizača u jednom smeru pojačanje u jednom kanalu raste a u drugom se smanjuje, a pri pomeranju u suprotnom smeru je obrnuto. Jednostavno rečeno, ako je pojačanje jednog kanala veće klizač treba pomeriti tako da pojačanja postanu jednaka.





Slika 4.13. Praktična realizacija kola sa slike 4.12



Slika 4.14. Regulacija boje tona, regulacija jačine i balansni potenciometar u sterefonskom pojačavaču

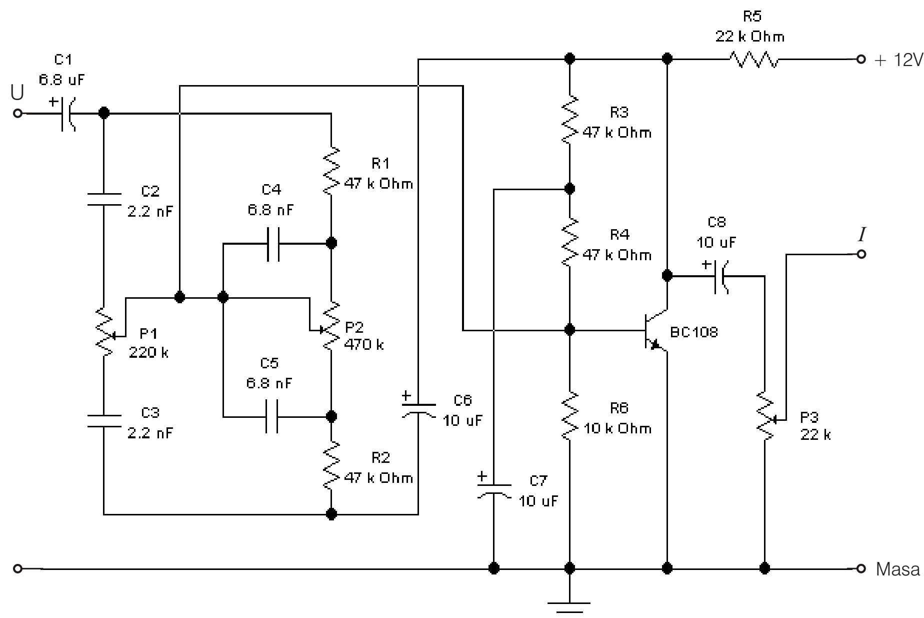
Isprekidane linije na slici 4.14 simbolično prikazuju da su potenciometri čije klizače spajaju u zajedničkom kućištu, tako da se oba klizača pomeraju zajedničkom ručicom, odnosno pomoću jednog dugmeta.

4.2.2.2. Aktivna kola za regulaciju boje tona

Sva ranije opisana kola za regulaciju boje tona unose izvesno slabljenje signala. Kada se, radi nadoknađivanja ovog slabljenja, ovim kolima doda neki pojačavač napona dobijaju se tzv. aktivna kola za regulaciju boje tona.

Ova kola mogu da se realizuju tako što se ispred ili iza pasivnog kola ubaci neki od ranije opisanih predpojačavača ali se češće primenjuje rešenje u kome se pasivno kolo ubacuje u kolo negativne reakcije pojačavača. Pojačavač može da bude realizovan u diskretnoj tehnici (sa tranzistorima), to je poznato Baksandalovo kolo, ili sa integrisanim kolom, to je "američka" verzija Baksandalovog kola. Zbog primene negativne reakcije, aktivna kola za regulaciju boje tona imaju znatno manja izobličenja od pojačavača koji je ispred ili iza pasivnog kola za regulaciju boje, a koji je, kao što je ranije bilo reči, neophodan za kompenzaciju pomenutih gubitaka.

Električna šema jednog aktivnog kola za regulaciju boje tona u diskretnoj tehnici prikazana je na slici 4.15. Kada ne bi bilo kondenzatora C_6, a donji kraj R_2 bio vezan na masu,



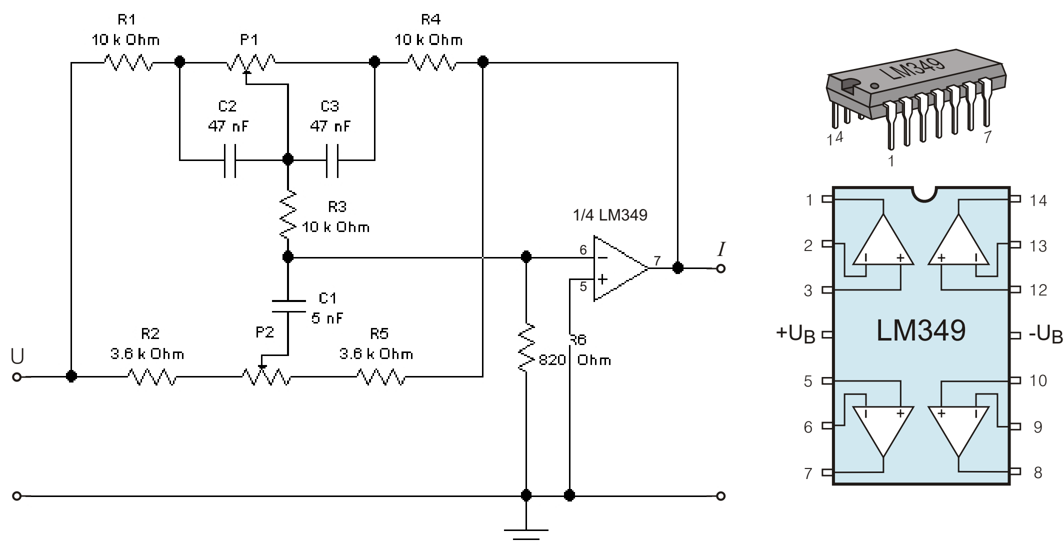
Slika 4.15. Aktivno kolo za regulaciju boje tona sa tranzistorskim pojačavačem

na slici bi bilo već opisano pasivno kolo za regulaciju boje tona sa dva potenciometra, sa koga se signal vodi na jednostepeni NF pojačavač sa tranzistorom BC108. Na kolektoru tranzistora se dobija NF napon koji je nekoliko desetina puta veći od napona na bazi. Ali, kao što je poznato iz Elektronike, ta dva napona su u protivfazi - dok jedan raste drugi opada i obrnuto. Kada postoji kondenzator C_6, deo NF napona sa kolektora se, preko pasivnog kola za regulaciju boje, vraća na bazu, čime je ostvarena negativna reakcija, koja smanjuje izobličenja. Regulacija pojačanja u oblasti visokih učestanosti vrši se pomeranjem klizača potenciometra P_1, a regulacija u oblasti niskih učestanosti - pomeranjem klizača P_2. P_3 je potenciometar za regulaciju jačine. Upotrebljeni tranzistor je BC108, ali je moguće koristiti bilo koji NF tranzistor male snage, kao što su BC148, BC107, BC109, 2N3704 itd. Ako se ukaže potreba da se promeni veličina jednosmerne struje kroz tranzistor, i time promeni pojačanje ili smanje izobličenja, to može da se postigne menjanjem otpornosti otpornika R_6: manji otpor - manja struja, veći otpor - veća struja. To se najlakše ostvaruje pomoću trimer potenciometra, na ranije opisan način.

Na slici 4.16 je električna šema aktivnog kola za regulaciju boje tona sa dva potenciometra, izvedenog sa integrisanim kolom LM349. Naravno, umesto LM349 moguće je koristiti neki drugi operacioni pojačavač. U kolu LM349 se nalazi četiri nezavisna operaciona pojačavača, na slici 4.16 je iskorišćen samo jedan, otuda 1/4 u oznaci na slici. Na ovoj slici nije prikazano kako se na kolo dovodi jednosmeran napon napajanja. Podrazumeva se da se on dovodi na nožice koje su za to predviđene, a one se nalaze na crtežu sa rasporedom nožica. Za naše kolo taj crtež je u desnom delu slike 4.16. Kao što se vidi, napajanje se priključuje između nožica broj 4 (plus) i 11 (minus)

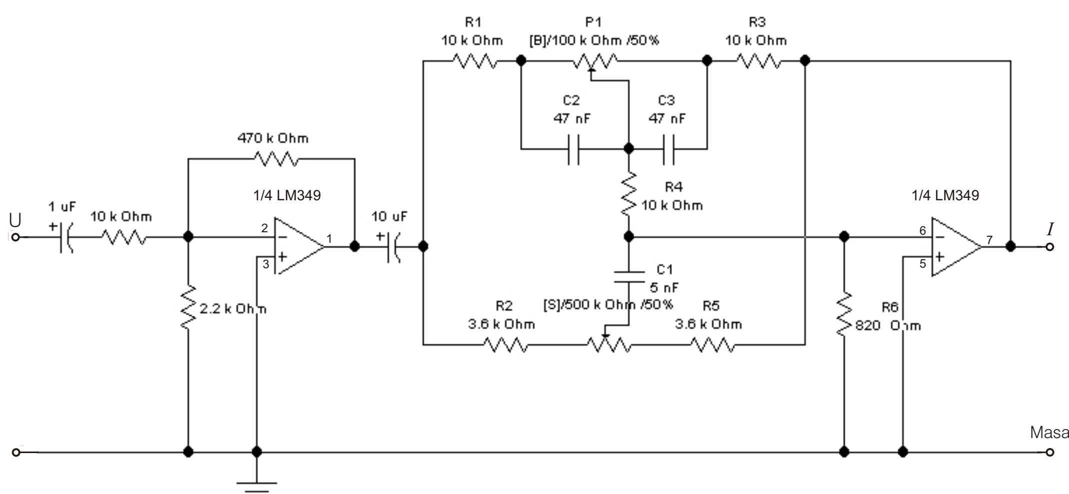
Ovo kolo je vrlo zgodno za korišćenje u stereofonskim pojačavačima, po dva pojačavača u svakom kanalu, jedan u pretdpojačavaču i drugi u aktivnoj boji tona. Na slici 4.17 prikazana je električna šema predpojačavača i aktivne boje tona za jedan kanal stereo pojačavača izveden sa dva operaciona pojačavača iz kola LM349. Za drugi kanal pojačavača treba koristiti istovetnu šemu.

I, na kraju ovog dela, kao primer predpojačavača sa više ulaza, data je šema na slici 4.18. Ona može da se koristi u audio-pojačavačima na koje treba priključiti tri izvora audio signala. To, recimo, mogu da budu radio-prijemnik (U1), CD plejer (U2) i MP3 plejer (U3). Problem koji se rešava ovom šemom je u tome što se izlazni naponi izvora veoma razlikuju



Slika 4.16. Aktivno kolo za regulaciju boje tona sa kolom LM349

po veličini. Ako bi se koristio neki od ranije opisanih predpojačavača na čiji bi ulaz bio priključen preklopnik sa tri položaja, kojim bi se birao željeni izvor signala, problem nastaje kada slušalac, koji je jačinu reprodukcije podesio dok je na ulazu bio izvor koji daje mali izlazni napon, prebaci preklopnik na izvor koji ima znatno veću amplitudu, recimo deset



Slika 4.17. Predpojačavač i aktivno kolo za regulaciju boje tona sa kolom LM349

puta. Deset puta veći ulazni signal znači deset puta veći izlazni signal odnosno sto puta veću snagu. Takvo veliko povećanje može da prouzrokuje oštećenje uređaja, a vrlo je neprijatno za slušaoce. Kao što se lako zaključuje, rešenje je u tome da se pri izboru signala na ulazu menja i pojačanje: veći signal - srazmerno manje pojačanje. U našem primeru: deset puta veći signal - deset puta manje pojačanje.

Na slici 4.18 se koristi rotacioni preklopnik S_1 koji ima dve sekcije, S_{1a} i S_{1b}. Isprekidana linija simbolično prikazuje da se obe sekcije nalaze na zajedničkoj osovini, tako da se prebacivanje iz jednog u drugi položaj vrši pomoću jednog dugmeta. Preklopnikom S_{1a} se bira ulaz (U1, U2, U3), a preklopnikom S_{1b} se u kolo povratne sprege predpojačavača uključuju odgovarajući otpornici i kondenzatori , pomoću kojih se ostvaruje da predpojačavač ima frekvencijsku kateristiku koja odgovara audio-signalu koji se pojačava. U stvari, pomoću dvostrukog preklopnika je postignuto isto kao da su upotrebljena tri posebna predpojačavača, svaki sa karakteristikama prilagođenim odgovarajućem izvoru audio signala.

Veličinu pojačanja određuju otpornosti R2, R4, R5, R6 i R7 i kapacitivnosti C4 i C5. Njihove veličine se najlakše nalaze eksperimentom. Na primer, kada su preklopnici u položajima kao na slici, pojačanje je

$$A=(R4+R2)/R2=(1200+100)/100=13.$$

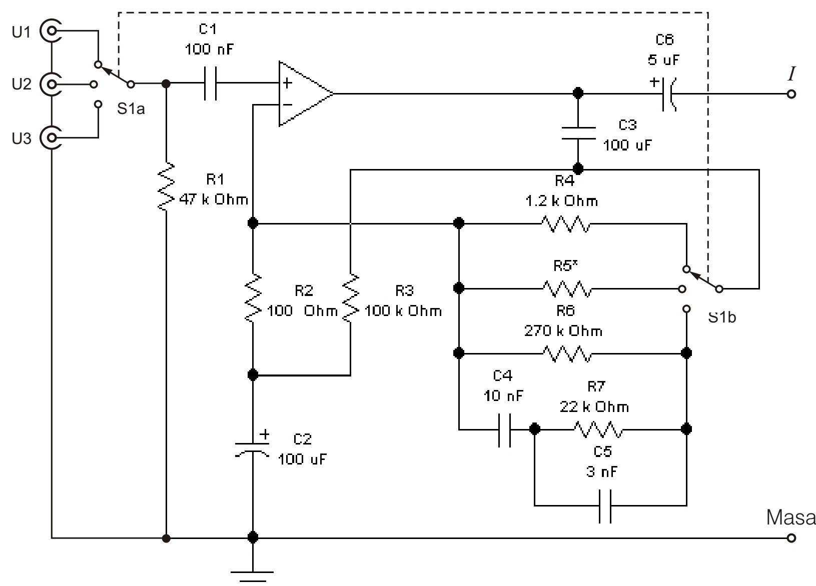
Ako je to veće od potrebnog, treba smanjivati R4 dok se ne ostvari potrebna vrednost. Obrnuto, ako je pojačanje nedovoljno veliko, treba povećavati R4. Dakle, dovedite NF signal iz radija na ulaz U1 i uključite i radio i pojačavač. Ako je reprodukcija preko zvučnika suviše glasna isključite uređaje, izvadite otpornik od 1,2 k i umesto njega zalemite otpornik manje otpornosti. Obrnuto, ako je reprodukcija suviše tiha probajte sa otpornikom veće otpornosti.

Na isti način se nalazi i otpornost R5, s tim što su sada preklopnici u srednjem položaju a na ulaz U2 je priključen CD plejer. Ako je sada ulazni signal tri puta veći, pojačanje treba da je tri puta manje, a to se ostvaruje sa

R5=(A/3-1)·R2=3,33·R2=330 ,

ali vi i sada tačnu vrednost nalazite eksperimentom.

Na slici 4.18 ulaz U3 je bio predviđen za priključivanje gramofona sa magnetnom glavom kod koje izlazni napon raste sa porastom učestanosti. Zato pojačanje treba da se smanjuje pri porastu učestanosti. To je otvareno dodavanjem kondenzatora C4 i C5.

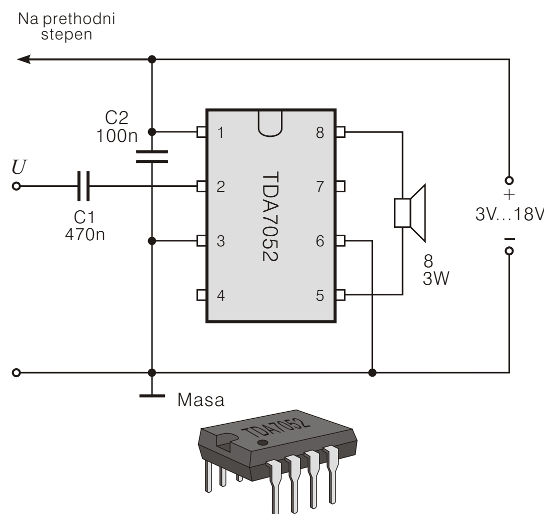


Slika 4.18. Predpojačavač sa tri ulaza

4.3. Pojačavači snage

4.3.1. Najjednostavniji pojačavač snage

Električna šema najjednostavnijeg audio-pojačavača snage data je na slici 4.19. Mnogi od čitalaca neće se složiti sa njegovim nazivom. Ima i jednostavnijih, reći će oni. Možda i ima, ali su oni saigurno mnogo skromnijih mogućnostu ili u pogledu osetljivosti, ili izlazne snage ili izobličenja itd. Na osnovu najvažnijih karakteristika kola TDA7052, a to su



Slika 4.19. Pojačavač snage sa kolom TDA7052

1. Izuzetna stabilnost rada,
2. Ugrađena zaštita od kratkog spoja na izlazu,
3. Nije potreban hladnjak,
4. Mala potrošnja, I_0=4 mA (pri U_{BAT}=6 V),
5. Nema "klik"-ova pri uključivanju i isključivanju,
6. Naponsko pojačanje A=39 dB,
7. Izlazna snaga P_{iz}=1,2 W, itd.,

ovaj pojačavač bi trebalo da se zove "Najjednostavniji, odličan pojačavač snage".

Napon ispravljača iz koga se pojačavač napaja električnom energijom se nalazi u granicama od 3 V do 18 V. Prizvođač kola preporučuje 6 V. Pri tom naponu, mirna struja pojačavača je samo I_0=4 mA, što ga čini pogodnim za napajanje iz baterije.

* C1 je sprežni kondenzator. On nije potreban ako na izlazu prethodnog stepena postoji sličan kondenzator. Tako, na primer, on nije potreban ako se signal na kolo TDA 70 dovodi sa nekog od ranije opisanih predpojačavača i mikseta.

* Kao C2 se koristi keramički kondenzator. On obezbeđuje stabilan rad pojačavača i koristi se kod svih integrisanih kola. Vezuje se između nožice na koju se dovodi + napajanja i mase. Pri projektovanju štampane ploče treba voditi računa da ovaj kondenzator bude što je moguće bliže nožici broj 1.

* Osetljivost ovog pojačavača snage je 35 mV. To znači da ako se želi da pojačavač ostvari svoju maksimalnu izlaznu snagu od 1,2 W na njegov ulaz treba dovesti signal čija je efektivna vrednost 35 mV. Ako je efektivna vrednost signala koji se pojačava manja od 35 mV, treba koristiti predpojačavač, a ako je veća od 35 mV, na ulaz treba staviti potenciometar

O praktičnoj primeni ovog kola biće još reči u projektu "Najjednostavniji audio pojačavač".

4.3.2. Pojačavač snage sa kolom LM386

U ranijim izdanjima "*Praktične* ELEKTRONIKE" ovaj projekat je nosio počasni naziv "Najjedenostavniji pojačavač snage". Zamenio ga je pojačavač sa kolom TDA7052 ali će ovde biti opisan i pojačavač sa kolom LM386, jer je ovo kolo veoma popularno i koristi se već nekoliko desetina godina. Razlozi njegove populanosti i dugovečnosti su kvalitet, pouzdanost i izuzetno niska cena.

Osnovne karakteristike pojačavača snage LM386 su:

* Napajanje iz baterije (ispravljača) napona od 4V do 12 V.

* Mala mirna struja, I_0=4 mA. (Mirna struja je jednosmerna struja koju pojačavač vuče iz baterije za napajanje kada na ulazu nema nikakvog pobudnog signala. To je karakteristika koja je veoma važna za uređaje koji se napajaju iz baterija a ne rade stalno, ali su stalno uključeni, kao što su, na primer, alarmni uređaji, interfoni i sl., jer što god je mirna struja manja baterije traju duže.

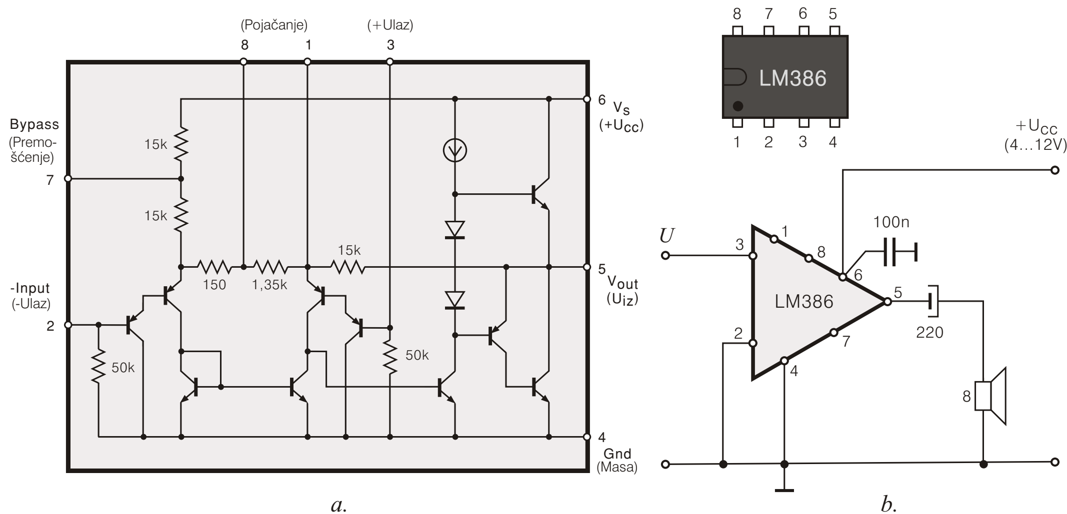
* Pojačanje napona može da se menja u granicama od 20 puta (26 dB) do 200 puta (46 dB). Ako između nožica 1 i 8 nije ništa priključeno (kao na slici 4.20-b) pojačanje je 20. Ako se između nožica 1 i 8 veže kondenzator kapacitivnosti oko 10 F (+ na nožicu 1) pojačanje je 200. Ako se na red sa kondenzatorom veže i otpornik pojačanje može da se podesi na veličinu od 20 do 200.

* Vrlo mala izobličenja (oko 0,2 %, na 1 kHz, sa zvučnikom otpornosti 8 , sa baterijom od 6 V i izlaznoj snazi od 125 mW).

* Maksimalna izlazna snaga, sa zvučnikom otpornosti 8 , naponom baterije od 6 V i pri koeficijentu izobličenja k = 10%, je 325 mW.

Autor pretpostavlja da su mnogi čitaoci, naročito oni mlađi, podigli obrve kada su pročitali da je izlazna snaga "samo" 325 mW. Nema mesta čuđenju, ovo kolo je predviđeno za koriščenje u prenosnim uređajima za koje je, u velikoj većini slučajeva, 325 mW "puna kapa". Imajte u vidu, u malim (džepnim) radio-prijemnicima koriste se audio pojačavači čija je maksimalna izlazna snaga manja od 50 mW, pa je 325 mW više nego dovoljno za uređaje koji se napajaju iz baterija, bilo zato što su to prenosni uređaji, bilo zato što se koriste na mestima na kojima nema električne mreže, kao što su radio-prijemnici, primopredajnici, mali TV prijemnici, interfoni, itd.

Na slici 4.20-a je prikazana blok šema kola LM386 koja omogućuje korisnicima da karakteristike kola prilagode svojim potrebama. Na slici 4.20-b je električna šema pojača-



Slika 4.20. a - uprošćena blok šema kola LM386, b - pojačavač snage sa kolom LM386

vača snage u najjednostavnijem obliku. Pojačavač po ovoj šemi radi ali to nije pravo i pouzdano rešenje kao ono na slici 4.21. Ovaj pojačavač ima više komponenata ali je mnogo pozdaniji i može da se koristi u mnogim praktičnim rešenjima električnih uređaja u kojima se koriste audio pojačavači snage (radio-uređaji, alarmi, interfoni, razni indikatorski uređaji i sl.), bez opasnosti da dođe do pojave nestabilnog rada, oscilovanja, oštećenja pojačavača itd. Pogledajmo detaljnije šta je postignuto dodavanjem dva otpornika i nekoliko kondenzatora.

* Vezivanjem kondenzatora C2 između nožica 1 i 8 pojačanje je sa A=20 povećano na A=200. Ako je to suviše veliko za neku primenu, smanjenje na neku vrednost između 20 i 200 se ostvaruje dodavanjem otpornika na red sa C1. Na primer, sa otpornikom od 1 k , pojačanje je A=50.

* Kondenzator C* nije potreban ako prethodni stepen na svom izlazu ima sprežni kondenzator, kao što je slučaj sa ranije opisanim predpojačavačima i miksetama.

* Kondenzator C** se koristi samo u slučaju da u pojačavaču dođe do pojave oscilovanja na visokim učestanostima.

* Kondenzator C3 sa otpornikom otpornosti 15 k , koji se nalazi u integrisnom kolu (između nožica 7 i 6), obrazuje NF filter koji sprečava oscilovanje. I ovaj kondenzator se

koristi po potrebi.

* Frekvencijska karakteristika može da se, prema potrebi, kroji jednostavnim vezivanjem odgovarajuće kombinacije otpornika i kondenzatora između nožica 5 i 1. Tako, na primer, ako se između ovih nožica vežu redno povezani kondenzator kapacitivnosti 33 nF i otpornik otpornosti 10 k , kao na slici, pojačanje u oblasti niskih učestanosti (oko 100 Hz) će biti za oko 6 dB veće od pojačanja za srednje i visoke učestanosti, a amplitudsko-frekvencijska karakteristika pojačavača će imati oblik kao na slici 4.21-b. Ovo izdizanje pojačanja je vrlo korisno kada se koriste zvučnici malih dimenzija koji, po pravilu, slabije reprodukuju tonove niskih nego tonove srednjih i, pogotovo, visokih učestanosti.

O praktičnoj realizaciji pojačavača sa kolom LM386 biće reči kasnije, u posebnom poglavlju.

C4 je keramički kondenzator i koristi se kod svih integrisanih kola. Čak i u slučajevima kad nije nacrtan na električnoj šemi, podrazumeva se da se on koristi. Bez njega, rad kola je nestabilan, a često i nemoguć. Montira se što je moguće bliže nožici na koju se dovodi + napajanja.

a. *b.*

Slika 4.21. Kompletan pojačavač snage sa kolom LM386

4.3.3. Pojačavač snage sa kolom LM380

Električna šema pojačavača snage sa kolom LM380 data je na slici 4.22. Kao što se vidi i ovo je veoma jednostavan pojačavač. Kondenzator C4 nije potreban ako takav, ili neki drugi veće kapacitivnosti, već postoji na izlazu ispravljača, i nije mnogo udaljen od kola. Jednosmerni napon napajanja pojačavača je u granicama od 9V do 22 V. Ako nije predviđeno posebno hlađenje kola, izlazna snaga, pri naponu napajanja od 18 V je 1,25 W. Sa hlađenjem, snaga je 2,5W. Pri manjim naponima napajanja i maksimalna snaga je proporcionalno manja. U kolo je ugrađena zaštita od kratkog spoja izlaznih priključaka, koji je, inače, smrtonosan za kola koja nemaju ovu zaštitu, kao i zaštita od pregrevanja. (Ako se pregreje, kolo se automatski isključi i ostaje isključeno dok se ne ohladi.)

Tipične vrednosti izlaznih snaga, otpornosti zvučnika i napona napajanja su dati u tabeli na slici 4.22.

Zvučnik 4	Zvučnik 8	Zvučnik 16
9 V 1,25 W	12 V 1,5 W	16 V 1,5 W
10 V 1,5 W	14 V 2,5 W	20 V 2,75 W

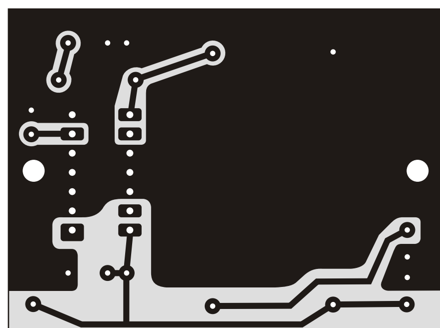
Slika 4.22. Pojačavač snage sa kolom LM380

Pri povezivanju sa baterijom ili ispravljačem, treba obratiti pažnju na polaritet. Ako se pogreši, pa plus bude spojen sa masom a minus sa nožicom 6, kolo može da bude uništeno.

Ako napon ispravljača nije dobro filtriran, a to se manifestuje kao brujanje iz zvučnika, treba između nožice 1 i mase vezati kondenzator kapacitivnosti 5 F.

Pojačanje kola je oko 34 dB (50 puta), osetljivost (veličina ulaznog napona pri kome se dobija maksimalna izlazna snaga) je oko 0,1 V, mirna struja je oko 7 mA, ulazna otpornost je 150 k i harmonična izobličenja su $k = 0{,}2\,\%$.

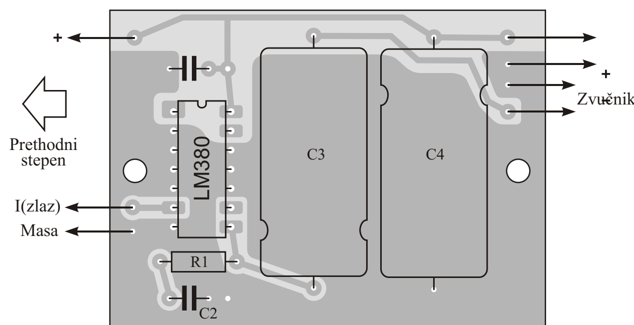
Crtež štampane ploče je na slici 4.23-a, gore je pogled sa strane štampe a dole sa strane komponenata. Kod kola LM380, slično kao i kod nekih drugih integrisanih kola u DIL-14 pakovanju, nožice 3,4,5 (sa jedne strane kućišta) i 10, 11 i 12 (sa suprotne strane) su predviđene za odvođenje toplote iz unutrašnjosti kućišta. Na slici 4.23-a veliki deo bakarne



1. Strana štampe

Što se tiče hlađenja, najbolje je da pločica stoji horizontalno sa bakarnom stranom na gore. Nešto malo lošije je ako stoji vertikalno, a najgore je ako stoji horizonatalno sa bakarnom stranom na dole.





2. Strana komponenata

Pločica može da bude dva puta manja ako koristite elektrolitske kondenzatore manjih dimenzija, naročito ako su to kondenzatori za vertikalnu montažu.

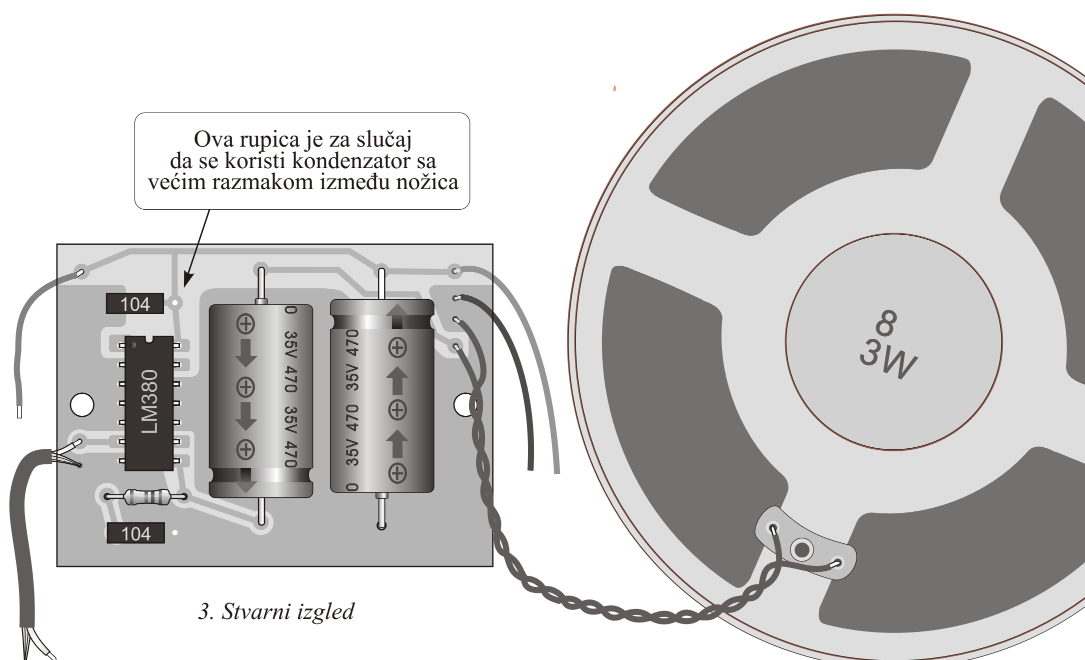


Slika 4.23-a. Štampana pločica pojačavača snage sa kolom LM380 sa slike 4.22

folije je ostavljen da bi bio iskorišćen kao hladnjak, pa su za njega zalemljene pomenute nožice. Za ovu foliju su zalemljeni i negativan pol izvora za napajanje, nožica 7 i nožica 2.

Stvarni izgled pločice i veza sa zvučnikom, ispravljačem i prethodnim stepenom je na slici 4.23-b.

Znatno efikasnije hlađenje integrisanog kola može da se ostvari ako se koriste metalna rashladna krilca, napravljena prema slici 4.23-c. Kao materijal se koristi bakarni lim, ali može da posluži i bilo kakav drugi lim koji može da se lemi, mesingani, gvozdeni itd.,



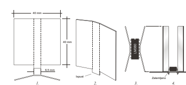
3. Stvarni izgled

Slika 4.23-b. Praktična realizacija pojačavača snage sa kolom LM380

Na štampanoj pločici se naprave dva proreza, dužine oko 6,5 mm i širine oko 1mm, što nije učinjeno na slici 4.23. Kroz jedan prorez prolaze nožice 10, 11 i 12 i ispust (širine 6,5 mm) na krilcu. I nožice i ispust se zaleme za bakarnu foliju. Kroz drugi prorez se provuku nožice 5, 4 i 3 i ispust na drugom krilcu, i svi se, takođe, zaleme za bakarnu foliju. Za taj deo folije zalemljene su i nožice 2 i 7.

Rashladna krilca mogu da budu i drugačijeg oblika, a mogu da se montiraju i sa donje strane pločice.

Slika 4.23-c, zumirajte →



4.3.3.1. Sweet sixteen

U prethodnom projektu je opisan pojačavač snage izveden sa kolom LM380 čija je maksimalna izlazna snaga 2 W. Ali, korišćenjem dva kola u tzv. mostnoj sprezi moguće je ostvariti četiri puta veću izlaznu snagu, tj. 8 W. Kada se naprave dva takva pojačavača, za stereofonsku reprodukciju, ukupna snaga je 2x8 W, tj. 16 W. Po toj brojci ovaj projekat je u poznatom časopisu ELECTOR dobio lepo ime "Sweet sixteen", što bi trebalo da obraduje sve tinejdžere, ljubitelje audio-tehnike. Električna šema ovog pojačavača snage je prikazana na slici 4.24.

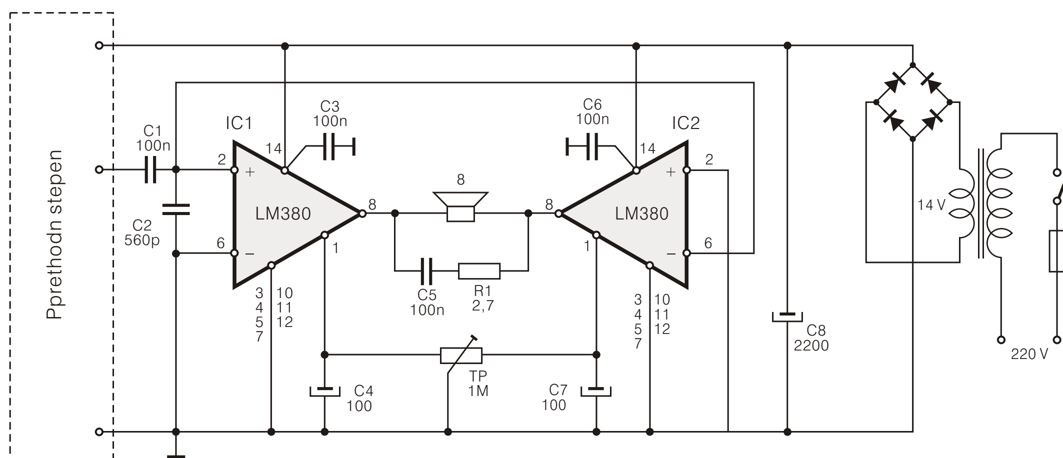
NF signal koji se pojačava se, preko sprežnog kondenzatora C1, dovodi na nožicu 2 prvog, i na nožicu 6 drugog kola. Nožica 2 je neinvertujući ulaz kola IC1, i za vreme dok NF napon raste, raste i napon na levom kraju zvučnika. Za to isto vreme, pošto je nožica 6 invertujući ulaz, napon na izlazu IC2, a to je napon na desnom kraju zvučnika se smanjuje. Sve u svemu, napon na zvučniku je dva puta veći nego kada bi radilo samo jedno kolo (tada bi drugi kraj zvučnika bio spojen sa masom, preko elektrolitskog kondenzatora kao na slici 4.2.2.). Imajući u vidu obrazac za izlaznu snagu

$$P = U_{iz}^2 / R_{zv},$$

jasno je da je izlazna snaga četiri puta veća.

Trimer potenciometar TP otpornosti 1 M služi za izjednačavanje jednosmernih napona na nožici 8 oba kola, tako da je jednosmerni napon između krajeva zvučnika jednak nuli. (To se radi tako što se da između jednog i drugog kraja zvučnika na slici 4.24 veže voltmetar (sa preklopnikom u položaju za merenje jednosmernog napona), i klizač trimera pomera dok voltmetar ne pokaže da je jednosmerni napon jednak nuli.)

Da bi šema bila kompletna, na slici 4.24 je nacrtan i ispravljač koji obrazuju mrežni transformator MT, mostni usmerač (Grec) i filterski kondenzator C8. Snaga transformatora je 30 W ili veća, a napon sekundara 14 V. Grecov usmerač treba da je za struju od 1,5 A, a osigurač za struju od 0,1 A.



Slika 4.24. Pojačavač snage sa dva LM380 u mostnom spoju

4.3.4. Pojačavač snage sa kolom TDA2002

Integrisana kola TDA2002 i TDA2002A su audio-pojačavači snage specijalno konstruisani za upotrebu u audio uređajima u automobilima, a to znači za rad u sredini sa velikim električnim smetnjama i otežanim uslovima rada, u kojoj električne komponente moraju da imaju povećanu pouzdanost. Pošto je u automobilima minus pol akumulatora spojen sa masom, nožica broj 3, preko koje se kolo spaja sa minus polom baterije za napajanje, je spojena sa rashladnom pločicom, pa ova može da se montira direktno na metalnu kutiju u koju je smešten pojačavač, a koja je spojena sa šasijom automobila. Izgled ovog kola je prikazan na slici 4.25. Zapazite kako su nožice savijene, što olakšava projektovanje štampane ploče kao i montažu hladnjaka. Nožice mogu da se saviju i drugačije, tako da se prilagode obliku i veličini hladnjaka.

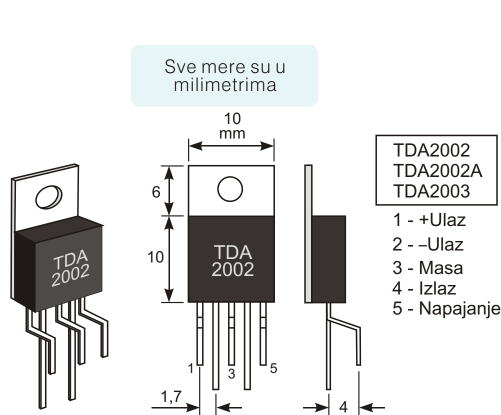
Jednosmerni napon napajanja kola može da bude u granicama od 8 V do 18 V, a kolo je sposobno da podnese kratkotrajne poraste napona do 28 V.

Pri naponu napajanja od 14,4 V (to je napon potpuno napunjenog automobilskog akumulatora) sa zvučnikom otpornosti 4 , maksimalna izlazna snaga je 5,2 W. Sa zvučnikom otpornosti 2 , izlazna snaga je oko 8 W. Obe ove snage su izmerene pri harmoničnim izobličenjima $k = 10\%$, ali su izobličenja pri manjim snagama mnogo manja, samo oko 0,2%.

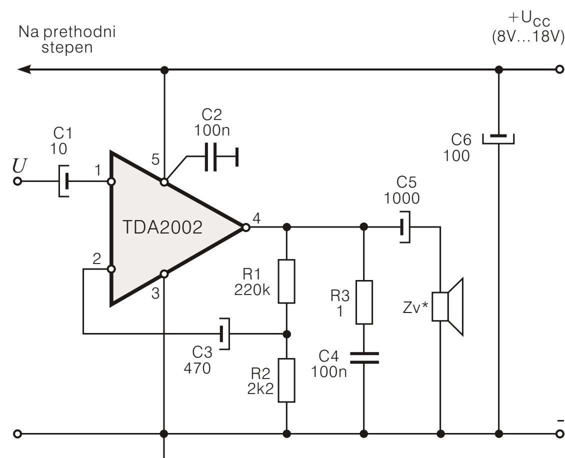
Električna šema je data na slici 4.26. Kao i kod svih operacionih pojačavača kod kojih je na neinvertujući ulaz doveden signal koji se pojačava, a na invertujući vraćen deo izlaznog signala, naponsko pojačanje pojačavača sa slike je dato izrazom $A=(R_1+R_2)/R_2$, što sa vrednostima kao na slici iznosi $A=101$, odnosno $A = 40$ dB.

Izgled štampane pločice, dat je na slici 4.27. Koristi se fabrički izrađen hladnjak ali može i neki od amaterskih opisanih u "*Praktičnoj* ELEKTRONICI 2". Integrisano kolo je čvrsto pritegnuto uz hladnjak mašinskim zavrtnjem prečnika 4 mm. Poželjno je da se metalni deo integrisanog kola koji naleže na hladnjak premaze tankim slojem specijalne silikonske masti, koja omogućuje bolji prenos toplote sa kola na hladnjak.

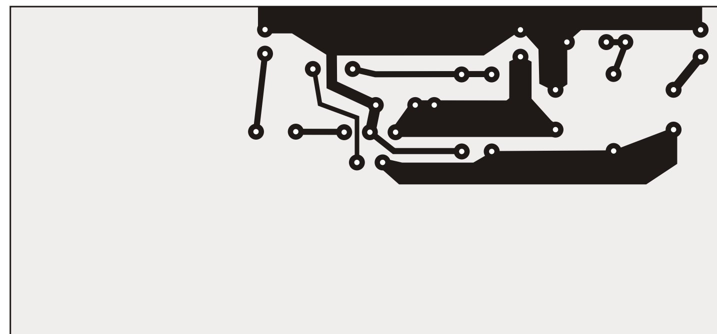
Hladnjak je zalepljen za štampanu pločicu mada je sigurnije ako se on za nju pričvrsti pomoću dva metalna ugaonika, koji su prikazani na slici 4.28.



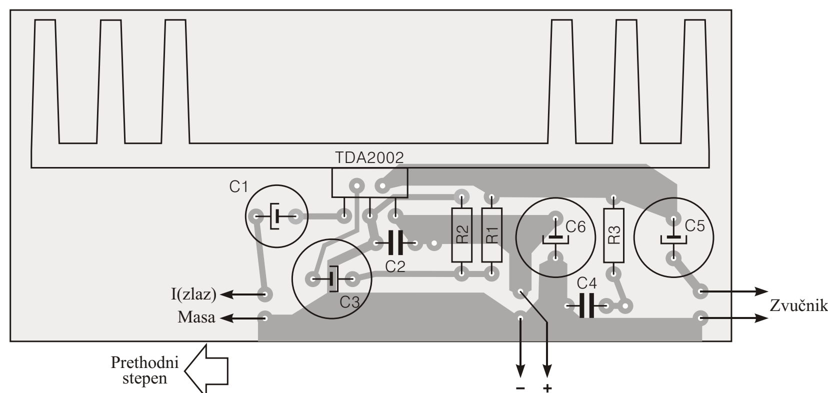
Slika 4.25. Oblik i dimenzije kola TDA2002



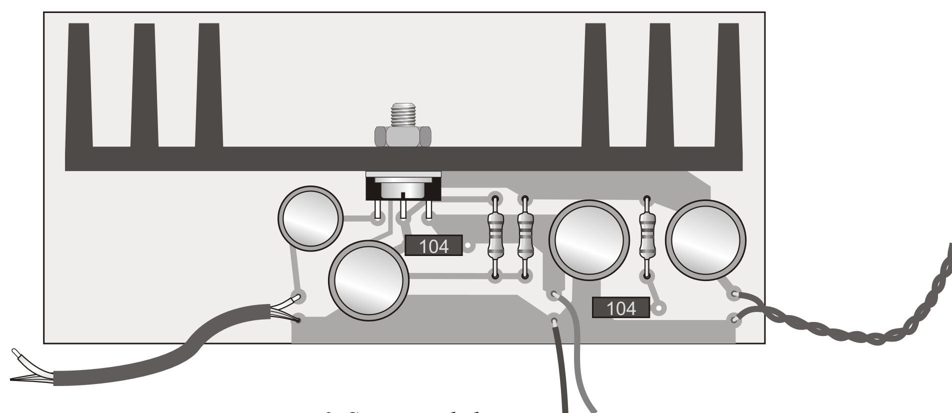
Slika 4.26. Pojačavač snage sa TDA2002



3. Strana bakra



2. Strana komponenata

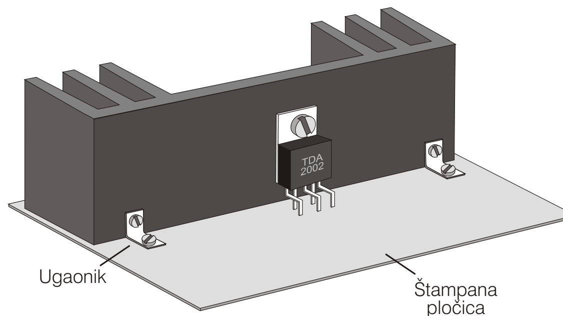


3. Stvarni izgled

Slika 4.27. Praktična realizacija pojačavača snage sa slike 4.26

Možete vi da lepite hladnjak kakvim hoćete lepkom. Putem do mog sela to ne bi izdržalo. Zato, vi to ipak ušrafite. Što je sigurno - sigurno.





Slika 4.28. Montaža kola TDA2002 na hladnjak

U glavi broj 3, u tekstu u kome je bilo reči o teorijskoj maksimalnoj izlaznoj snazi pojačavača, videli smo da je ona data izrazom:

$$P_{iz\max} = \frac{U_{Bat}^2}{8R_{zv}},$$

pa ako je U_{Bat}=14 V i R_{zv}=4 tada je P_{izmax}=142/(8·4)=6,1 W.

Veća izlazna snaga može da se dobije ili povećavanjem napona napajanja, što u slučaju automobilskog uređaja nije moguće (osim uz korišćenje DC-DC pretvarača, što znatno poskupljuje uređaj), ili uz korišćenje zvučnika manje otpornosti. Otpornost zvučnika koji se koristi sa kolom TDA2002 ne sme da bude manja od 2 (dva zvučnika otpornosti 4 vezana u paralelu), i tada je maksimalna izlazna snaga 12,2 W.

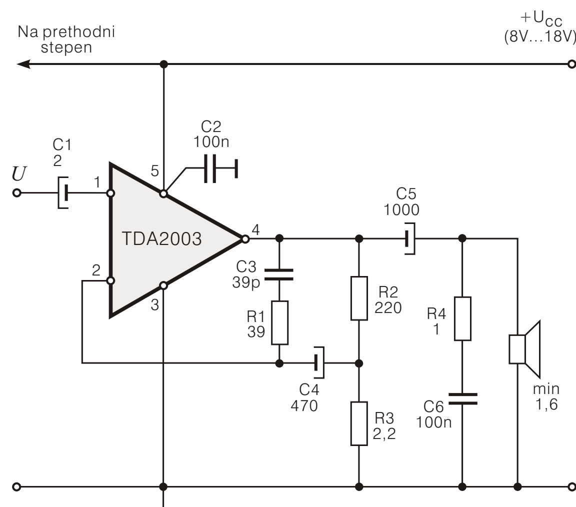
Još veća snaga može da se ostvari upotrebom dva kola TDA2002 vezanim u mostnom spoju, kao na slici 4.24. Po teoriji, maksimalna izlazna snaga je četiri puta veća nego kada se koristi samo jedno kolo, i jednaka je 24,5 W, sa zvučnikom od 4 . Ali u praksi, gubici koji su neizbežni u izlaznom stepenu pojačavača, ograničavaju snagu na znatno

4.3.5. Pojačavač snage sa kolom TDA2003

Kolo TDA2003 je poboljšana verzija kola TDA2002, i smešteno je u isto kućište (kao na slici 4.25) sa istim oznakama nožica.

Osnovne karakteristike ovog pojačavača, čija je električna šema data na slici 4.29, su:

* Napon napajanja: od 8 V do 18V
* Mirna struja: 45 mA
* Osetljivost: 300 m V
* Ulazna otpornost: 150 k
* Pojačanje napona: 100 (40 dB)
* Propusni opseg: od 40 Hz do 15 kHz
* Klir-faktor: k=0,2% (pri P_{iz}=4,5 W sa R_{zv}=4 ili P_{iz}=7 W sa R_{zv}=2)
* Maksimalna izlazna snaga: 6 W (sa R_{zv}=4), 7,5 W (sa R_{zv}=3,2), 10 W (sa R_{zv}=2) i 12 W (sa R_{zv}=1,6).



Slika 4.29. Pojačavač snage sa TDA2003

Manje otpornosti zvučnika se dobijaju paralelnim vezivanjem dva ili više zvučnika. Na primer, pet zvučnika otpornosti 8 oma i snage 3 vata vezanih paralelno ponašaju se kao jedan zvučnik otpornosti 1,6 oma i snage 15 vati. Kao što vidite, otpornost je pet puta manja, a snaga pet puta veća. (Rednim vezivanjem istih zvučnika dobili biste ekvivalentni zvučnik pet puta veće i snage i otpornosti.)



4.3.6. Pojačavač snage sa kolom TDA2030

I kolo TDA2030 je smešteno u kućište sa slike 4.25 i ima iste oznake nožica kao i kola TDA2002 i TDA2003. Jedina razlika je što kod kola 2030 nožica 3 može da bude priključena ili na masu (kao i kod 2002 i 2003) ili na negativan jednosmerni napon, kada se koristi simetrično napajanje, odnosno ispravljač koji daje dva napona, jedan pozitivan a

drugi negativan u odnosu na masu. U ovom drugom slučaju, pozitivan kraj ispravljača se spaja sa nožicom 5, a negativan sa nožicom 3, a masa ispravljača sa tačkom sa kojom je spojen donji kraj zvučnika. Tada R1, R2 i R3 kao i C2 (slika 4.30) nisu potrebni.

Kolo ima ugrađenu zaštitu i od kratkog spoja izlaznih priključaka i od pregrevanja, a osnovne karakteristike pojačavača (kada se koristi šema sa slike 4.31) su:

* Mirna struja: 40 mA
* Struja ispravljača pri P_{iz} = 14 W (sa R_{zv}=4) je I_0=900 mA, a pri P_{iz}=9 W (sa R_{zv}=8) je I_0=500 mA
* Osetljivost: 250 mV
* Naponsko pojačanje: 30 dB
* Propusni opseg: 10 Hz do 140 kHz
* Izobličenja: k = 0,1% (8 W, 8) i k = 0,2% (12 W, 4)
* Maksimalna izlazna snaga (pri k=10% na f=1 kHz): 18 W (za R_{zv}=4), odnosno 11 W (za R_{zv}=8).

Ovo su samo neki od podataka o kolu TDA2030. Mnogo više podataka, zajedno sa različitim uputstvima, preporukama, dijagramima itd., koji zauzimaju čitavih dvanaest strana formata A4, možete da nađete na INTERNET-u. Kao primer onoga šta tamo može da se nađe, na slici 4.32 je 6/12 strana.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

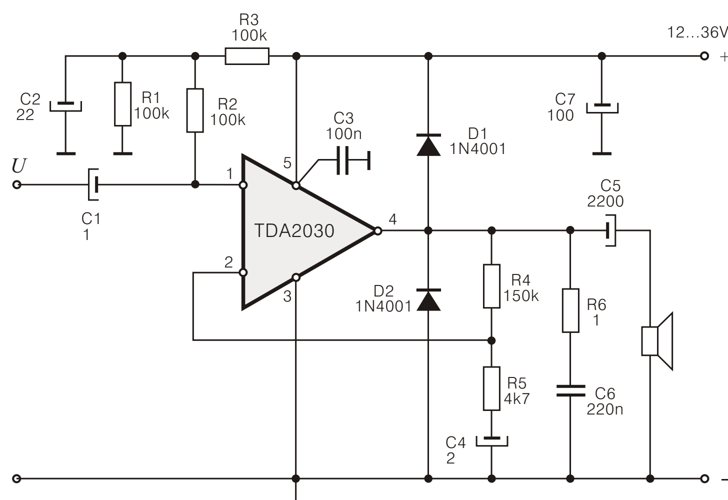
Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_s	Supply voltage (Napon napajanja)		+6 12		+18 36	V
I_d	Quiescent drain current (Mirna struja)	V_s = +18V (Vs = 36V)		40	60	mA
I_b	Input bias current (Ulazna pobudna struja)	V_s = +18V (Vs = 36V)		0.2	2	A
V_{os}	Input offset voltage (Ulazni napon razdesenosti)	V_s = +18V (Vs = 36V)		+ 2	+ 20	mV
I_{os}	Input offset current (Ulazna struja razdesenosti)	V_s = +18V (Vs = 36V)		+20	+200	nA
P_o	Output power (Izlazna snaga)	d = 0.5% G_v= 30 dB f = 40 to 15,000 Hz R_L = 4 R_L = 8	12 8	14 9		W W
		d = 10% G_v = 30 dB f = 1 KHz R_L = 4 R_L = 8		18 11		W W
d	Distortion (Izoblicenja)	P_o = 0.1 to 12W R_L = 4 G_v = 30 dB f = 40 to 15,000 Hz		0.2	0.5	%
		P_o = 0.1 to 8W R_L = 8 G_v = 30 dB f = 40 to 15,000 Hz		0.1	0.5	%
B	Power Bandwidth (-3 dB) (Propusni opseg)	G_v = 30 dB P_o = 12 W R_L = 4	10 to 140,000			Hz
R_i	Input resistance (pin 1) (Ulazna otpornost)		0.5	5		M
G_v	Voltage gain (open loop) (Naponsko pojacanje OP)			90		dB
G_v	Voltage gain (closed loop) (Naponsko pojacanje ZP)	f = 1 kHz	29.5	30	30.5	dB
e_N	Input noise voltage	B = 22 Hz to 22 KHz		3	10	V
i_N	Input noise current	B = 22 Hz to 22 KHz		80	200	pA
SVR	Supply voltage rejection (Potiskivanje brujanja iz ispravljaca)	R_L = 4 G_v = 30 dB R_g = 22 k V_{ripple} = 0.5 V_{eff} f_{ripple} = 100 Hz	40	50		dB
I_d	Drain current (Struja ispravljaca)	P_o = 14W R = 4 P_o = W R = 8		900 500		mA mA

Pogledajte podatke o ovom kolu u folderu Data Sheet

* d=k, R_L=R_{zv}, P_o=P_{iz}, G_V=A, OP -otvorene petlje, ZP - zatvorene petlje,

Slika 4.30. Šesta od ukupno dvanaest strana fabričkih podataka o kolu TDA2030.

Električna šema pojačavača je prikazana na slici 4.31. TDA2030 je, kao i ostali integrisani pojačavači snage, operacioni pojačavač velike izlazne snage. Pobudni signala se dovodi na neinvertujući ulaz (nožica 1), a izlaz je na nožici 4 (između nje i mase). Negativna reakcija je ostvarena tako što se približno jedna četvrtina izlaznog napona vraća na invertujući ulaz (nožica 2).



Pojačanje pojačavača sa negativnom reakcijom je:

$$A_r = \frac{A}{1+\ A},$$

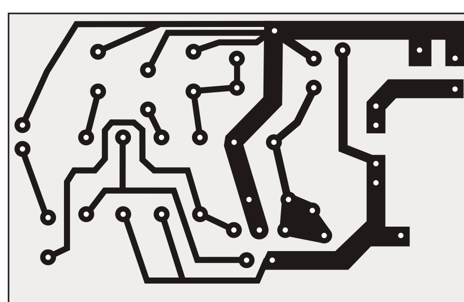
gde je A - pojačanje bez reakcije, a =R5/(R4+R5).

Pošto je A>>1, pojačanje pojačavača sa slike 4.31 je:

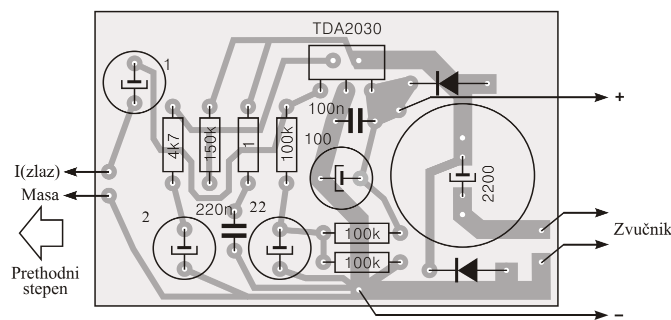
$$A_r = \frac{1}{\ } = \frac{R4+R5}{R5} = 33$$

Slika 4.31. Pojačavač snage sa TDA2030

Štampana pločica pojačavača sa slike 4.31 prikazna je na slici 4.32-a. Gore je pogled na štampanu pločicu sa strane na kojoj su bakarne linije i stopice u koje se leme nožice komponenata. Dole je pogled na stranu na kojoj se nalaze komponente. Ove su, radi



1. Strana štampe



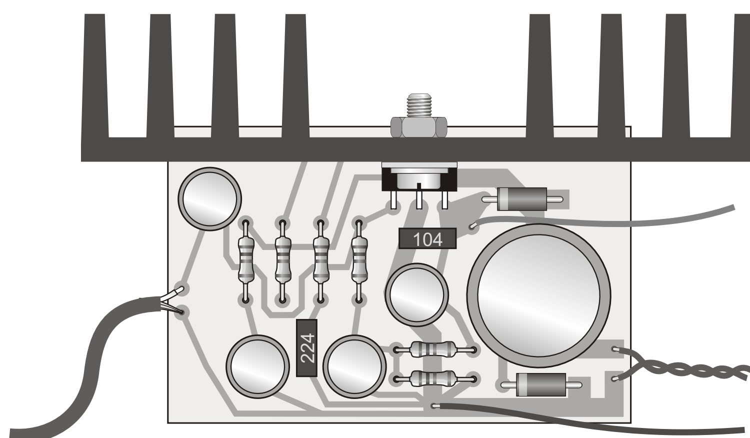
2. Strana komponenata

Slika 4.32-a. Štampana pločica pojačavača sa slike 4.31

preglednosti, prikazane svojim transparentnim simbolima. Linije i stopice se vide kroz pločicu jer je ova napravljena od poluprovidnog vitroplasta.

Na slici 4.32-b je crtže kompletnog pojačavača sa slike 4.31.

Signal koji se pojačava se dovodi iz prethodnog stepena preko mikrofonskog kabla.



Slika 4.32-b. Crtež kompletnog pojačavača sa slike 4.31

Ako rastojanje nije veće od desetak santimetara, umesto kabla mogu da se koriste dve obične izolovane žice. Bolje rešenje je da se i predpojačavač realizuje na istoj pločici na kojoj je i

pojačavač snage. U tom smislu pločicu sa slike 4.32 treba proširiti ulevo. Na istu pločicu mogu da se montiraju i Grecov usmerač i filterski kondenzator ispravljača, pa pločicu treba proširiti i udesno.

Pre početka crtanja štampane pločice treba proveriti da li ona odgovara komponentama, naročito elektrolitskim kondenzatorima kojima raspolažete, pa, ako je potrebno, izvršiti odgovarajuća pomeranja stopica i linija.

4.3.7. Pojačavač snage sa kolom LM1875

LM1875 je audio pojačavač izlazne snage 20 W. Evo šta za ovo kolo kaže njegov proizvođač *National Semiconductor* na svom vebsajtu http://www.national.com:

" **LM1875 20 W Audio Power Amplifier**

LM1875 je monolitni pojačavač snage sa performansama visokog kvaliteta uz vrlo mala izobličenja.

Njegova izlazna snaga je 25 W sa zvučnikom otpornosti od 4 do 8 i napajanjem od ±25 V. Sa zvučnikom otpornosti 8 i napajanjem od ±30 V izlazna snaga je veća od 30 W. Pojačavač je dizajniran za rad sa minimumom spoljašnih komponenata. U kolo je ugrađena zaštita od preopterećenja kao i zaštita od pregrevanja.

U dizajnu kola LM1875 su korišćene napredne tehnike i procesiranje što je rezultiralo u izuzetno malom nivou izobličenja čak i pri visokim nivoima izlazne snage. Ostale izuzetne mogućnosti kola su veliko pojačanje, velika brzina porasta ili opadanja izlaznog napona, širok propusni opseg, veliki izlazni napon, velika izlazna struja i vrlo širok opseg napona napajanja. Pojačavač je interno kompenzovan i stabilan za pojačanja od 10 ili veća.

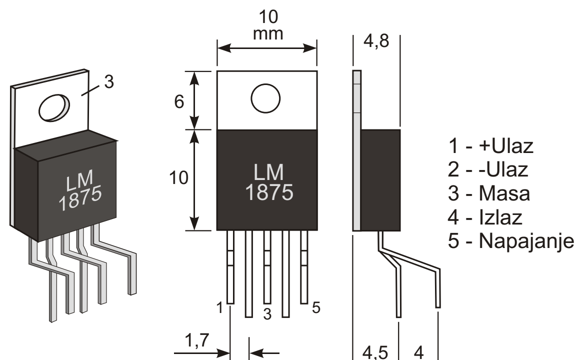
Karakteristike

- Izlazna snaga do 30 W
- Naponsko pojačanje bez povratne sprege oko 90dB
- Mala izobličenja: *k*=0,015%, na učestanosti 1 kHz pri snazi od 20 W
- Širok propusni opseg: 70 kHz
- Zaštita od kratkog spoja prema masi i za jednosmerne i za naizmenične napone
- Termička zaštita sa "parole" kolom
- Velika izlazna struja: 4 A
- Širok opseg napona napajanja: 16 V - 60 V.
- Ugrađene diode za zaštitu izlaznih tranzistora
- Potiskivanje bruma u jednosmernom naponu ispravljača: 94 dB
- Kolo je u kućištu TO-220.

Primene

- Audio-sistemi visokih performansi
- Pojačavači u mostnom spoju
- Stereofonski uređaji
- Servo pojačavači
- Instrumentalni sistemi

Izgled i dimenzije kola su date na slici 4.33. Kao što se vidi, ono je, i po obliku i po rasporedu i ulogama nožica, potpuno isto kao kolo TDA2030. Električna šema pojačavača snage sa LM1875 je data na slici 4.34. Ona je potpuno ista kao šema na slici 4.30. Jedina razlika je što nema zaštitnih dioda jer su one ugrađene u kolo.



Slika 4.33. Izgled i dimenzije kola LM1875

Čitaoci zainteresovani za eksperimentisanje sa šemom treba da znaju da je LM1875 vezan kao neinvertujući operacioni pojačavač, kao i mnogi, ne svi, savremeni pojačavači snage.

* Naponsko pojačanje je A=(R4+R5)/R5, pa može da se promeni menjanjem ovih otpornosti. Pri tome treba imati u vidu da pojačanje ne sme da bude manje od A=16.

* Otpornici R1 i R3 moraju da imaju jednake otpornosti. Oni obrazuju razdelnik napona pa je jednosmerni napon u tački u kojoj su spojeni jednak polovini napona napajanja. Ovaj napon se, preko otpornika R2, vodi na neinvertujući ulaz pa je i napon na izlazu (nožica 4) jednak polovini napona napajanja. Otpornosti R1, R2 i R3 mogu da se menjaju, s tim da je uvek R1=R3, imajući u vidu da je ulazna otpornost pojačavača jednaka R_{ul}=R2+R1·R3/(R1+R3).

* C1 je sprežni kondenzator preko koga se signal koji se pojačava dovodi na ulaz. On sprečava da na ulaz dođe i jednosmerni napon iz prethodnog stepena. Ovaj kondenzator nije

potreban ako sprežni kondenzator već postoji na izlazu prethodnog stepena.

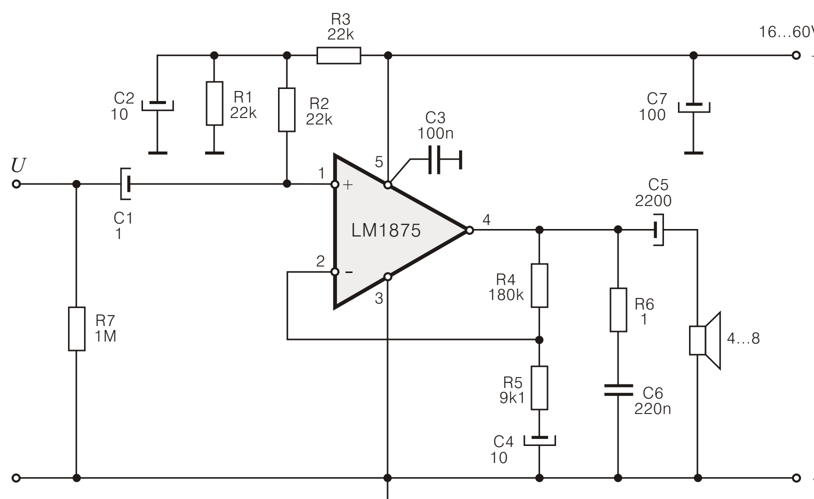
* Kondenzator C2 i otporniko R3 obrazuju NF filter koji sprečava da se deo izlaznog napona vrati na ulaz pojačavača. Popularno se kaže da C2 služi za dekuplovanje izlaza od ulaza.

* Kondenzator C3 premošćuje izlaz ispravljača za VF napone. Sa njim u paraleli su kondenzator C7 i kondenzator na izlazu ispravljača. Ova dva su elektrolitski kondenzatori, koji nisu mala otpornost za VF struje jer imaju i induktivnost. C3, C7 i otpornost žice kojom se nožica 5 spaja sa + polom ispravljača obrazuju NF filter koji sprečava da se na nožici 5 pojavi bilo kakav naizmenični napon, bilo VF bilo NF. Sve u svemu, popularno se kaže da kondenzatori C3 i C7 otklanjaju opasnost od oscilovanja pojačavača. To se najefikasnije ostvaruje ako su oba kondenzatora što bliže nožici 5. C3 je obavezna komponenta svih integrisanih kola, a ne samo audio-pojačavača. To ne može da bude bilo kakav kondenzator već kondenzator koji ima malu induktivnost. Najčešće to je pločasi liskunski kondenzator.

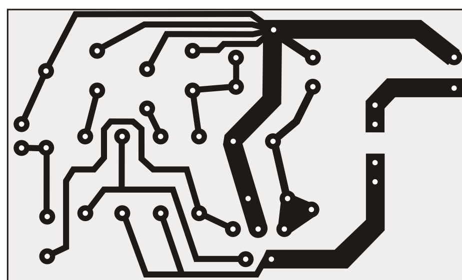
* Kondenzator C4 ostvaruje kratak spoj za naizmeničnu struju između donjeg kraja otpornika R5 i mase, a odvaja ga od mase za jednosmernu struju, što je neophodno za normalan rad operacionog pojačavača u spoju kao na slici. Smanjivanjem kapacitivnosti C4 povećava se donja granična učestanost propusnog opsega.

* Otpornik R6 i kondenzator C6 formiraju "Zobelovo kolo" čija je uloga da spreči oscilovanje pojačavača na visokim učestanostima. Otpronost R6 je nekoliko oma a kapacitivnost C6 je nekoliko desetina nanofarada.

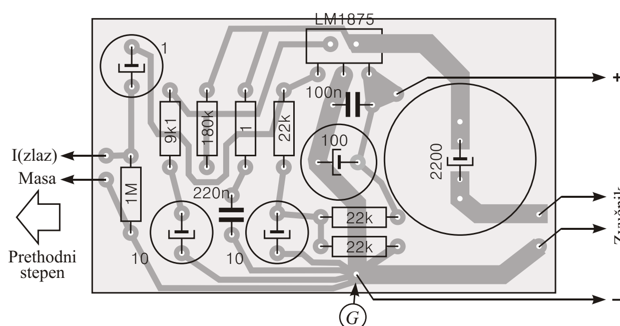
Praktična realizacija je ilustrovana slikom 4.35. Vrlo je korisno zapaziti kako su na pločici spojeni sa masom nožica 3, donji kraj zvučnika i donji krajevi R7, C2, R1, C3, C4, C6 i C7. Za to je najpogodnija slika u sredini. To je tzv. *zvezdasto uzemljenje* ili *uzemljenje u jednoj tački*. Centralna tačka je stopica obeležena sa *G* u koju je zalemljen kraj žice kojom je pločica povezana sa negativnim krajem ispravljača. Sa ovom tačkom su povezani nožica 3 i donji krajevi nabrojanih komponenata. Ali, kao što se vidi, sve veze su ostvarene posebnim linijama. Time je ostvareno da struje svih komponenata idu ka masi (ka tački *G*) odvojenim



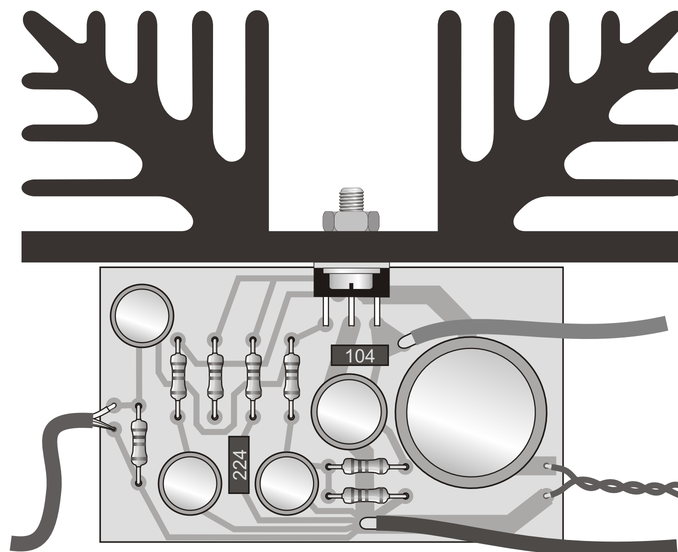
Slika 4.34. Pojačavač snage sa LM1875



1. Strana štampe



2. Strana komponenata



3. *Stvarni izgled*

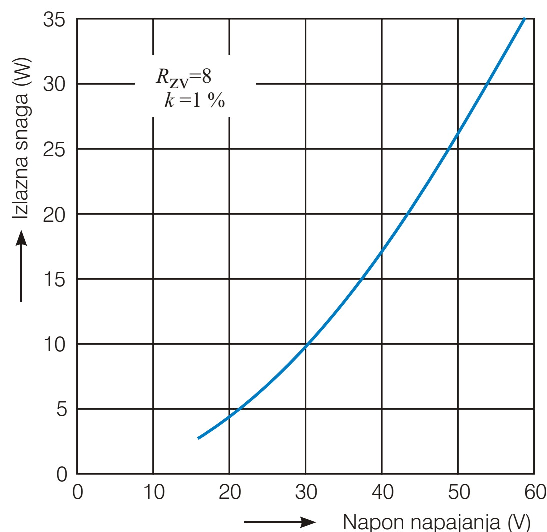
Slika 4.35. Praktična realizacija pojačavača sa slike 4.34

putevima čime se sprečava da se deo izlaznog signala vrati na ulaz, što bi dovelo do nestabilnog rada pa i do oscilovanja pojačavača. Naročito je važno da kroz istu bakarnu liniju ne teku struja zvučnika, ili struja kroz C6, i ulazna struja.

Ovakvo projektovanje štampane ploče je od izuzetne važnosti za dobar rad pojačavča snage, naročito onih koji imaju veliku izlaznu snagu, a to znači i veliku struju kroz zvučnik.

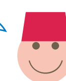
* Napajanje pojačavača sa slike 4.34 je u granicama od 16 V do 60 V. Veličina izlazne snage zavisi od veličine napona napajanja: veći napon - veća snaga, kao što se vidi na dijagramu na slici 4.36, koji važi za slučaj da je na pojačavač priključen zvučnik od 8 a klir-faktor je *k*=1 %. Dakle, najveća izlazna snaga P_{izmax}=36 W se ostvaruje sa naponom napajanja od 60 V. Ali, kao i kod drugih komponenata elektronskih uređaja, nije dobro da se ide do krajnjih mogućnosti integrisanog kola, bolje je, radi sigurnosti rada, da postoji neka rezerva. U ovom slučaju to znači da je bolje da napajanje bude nešto manje od 60 V, recimo 50 V. Tada će maksimalna izlazna snaga biti nešto manja, oko 25 W, ali što je sigurno, sigurno. Međutim, i 50 V je prilično velika vrednost pa su elektrolitski kondenzatori i skuplji i većih dimenzija nego što bi bili sa manjim naponom. Sve u svemu, ako pravite pojačavač po šemi na slici 4.34, koristite ispravljač sa manjim naponom, recimo do 30 V. Tada je maksimalna izlazna snaga oko 10 W, što je za većinu praktičnih primena više nego dovoljno. Ako je, ipak, potrebna veća snaga bolje rešenje je pojačavač sa simetričnim napajanjem koji je prikazan na slici 4.38.

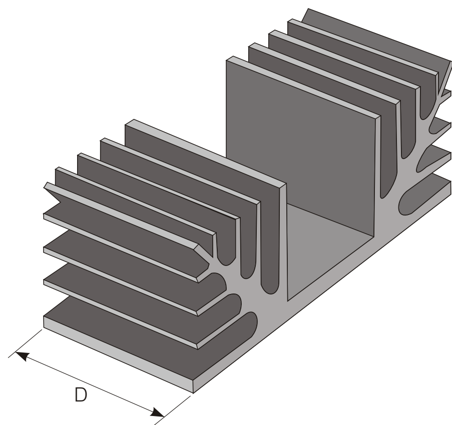
* Zbog prilično velike mirne struje, kolo LM1875 ne može da se koristi bez hladnjaka, čak i kad na njegov ulaz nije doveden nikakav signal. Veličina hladnjaka, tačnije rečeno veličina njegove površine, zavisi od veličine izlazne snage. Za snagu od 25 W može da se koristi hladnjak sa slike 4.37 koji sa dužinom *D*=100 mm ima termičku otpornost R_{th}=1,5 °C/W. Ovaj hladnjak je iz *Conrad*-ovog kataloga. U njemu postoje i hladnjaci istog preseka kao onaj na slici 4.37 ali sa manjim *D*: 75 mm (R_{th}=1,8), 50 mm (R_{th}=2,3) i 37 mm (R_{th}=2,8), koji mogu da se koriste pri manjim snagama. U katalogu postoje i hladnjaci drugačijih oblika. Oblik nije od velikog značaja, bitno je da je termička otpornost jednaka ili manja 1,5 °C/W.

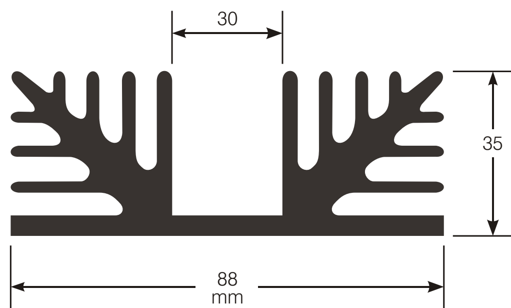


Slika 4.36. Zavisnost izlazne snage od veličine napona napajanja

Po teoriji, snaga raste sa kvadratom porasta napona: 2 puta veći napon - 4 puta veća snaga, 3 puta veći napon - 9 puta veća snaga itd. Tako je, vrlo približno, i na gornjem dijagramu.



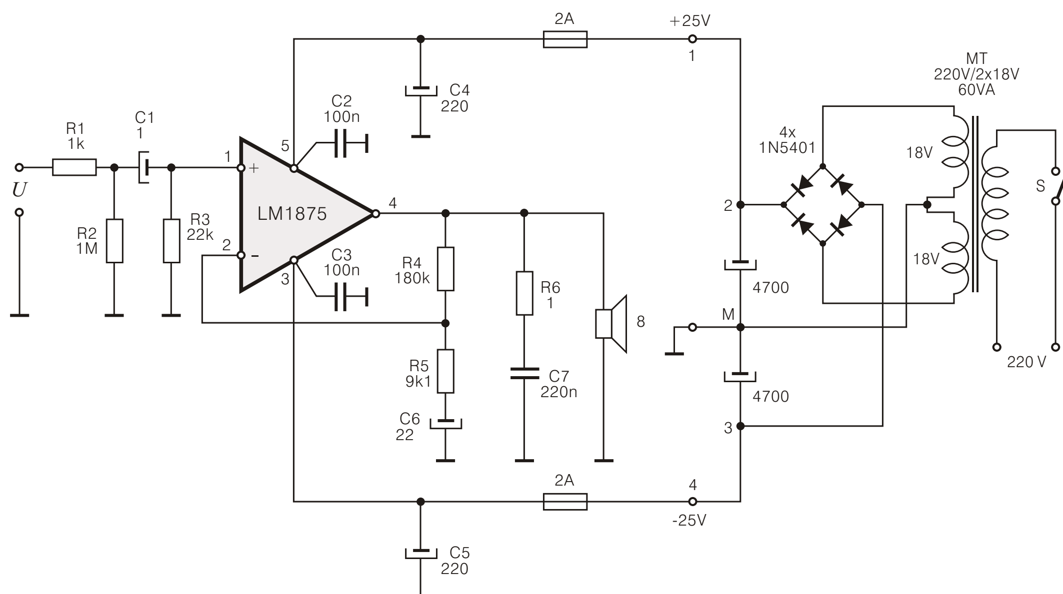




Slika 4.37. Hladnjak za LM1875: levo - izgled, desno - presek

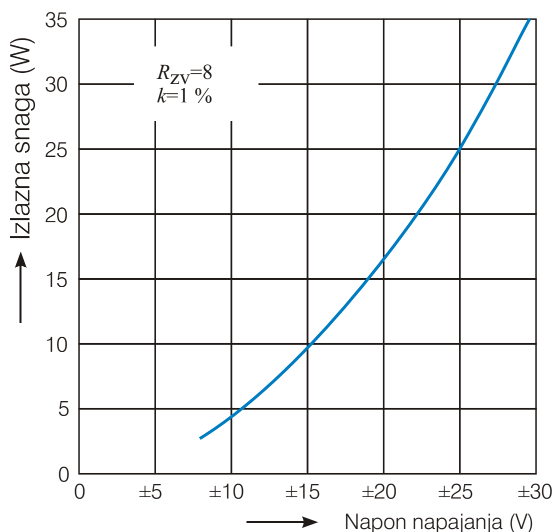
4.3.7.1. Pojačavač snage sa kolom LM1875 sa simetričnim napajanjem

Kao što je već rečeno, veća izlazna snaga pojačavača snage sa kolom LM1875 se uz manje problema ostvaruje kada se koristi simetrično napajanje. Električna šema takvog pojačavača prikazana je na slici 4.38. Kao što se vidi, bitna razlika u odnosu na pojačavač sa slike 4.34 je u tome što nožica 3 nije spojena sa masom već se na nju dovodi jednosmeran napon od –25 V. Na nožicu 5 se dovodi napon +25 V, pa je izlazna snaga ista kao kada bi napajanje pojačavača sa slike 4.34 bilo +50 V. Sa napajanjem od ±25 V izlazna snaga pojačavača sa

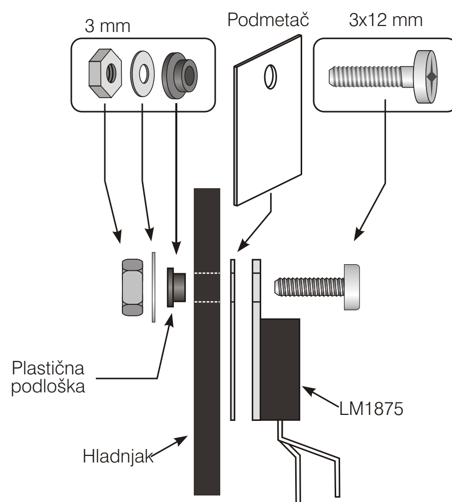


Slika 4.38. Pojačavač snage sa LM1875 sa simetričnim napajanjem

slike 4.38 je 25 W. Sa manjim naponima snaga je manja a može da se vidi kolika je na dijagramu na slici 4.39.



Slika 4.39. Zavisnost izlazne snage od veličine napona napajanja



Slika 4.40. Montaža LM1875 na hladnjak

Ako se pojačavač smešta u metalnu kutiju tada se kutija povezuje sa masom na pločici i sa uzemljenjem u mrežnom šuko utikaču. U tom slučaju hladnjak se montira tako da je u dodiru sa kutijom, odnosno pričvršćen za nju pomoću zavrtnja i odgovarajućih metalnih ugaonika. Treba imati na umu da je metalna pločica na kolu LM1875 interno spojena sa nožicom 3. U slučaju nesimetričnog napajanja to ne predstavlja problem jer je tada nožica 3 spojena sa masom. Ali, u slučaju simetričnog napajanja to nije slučaj, nožica 3 je na naponu od –25 V, toliki je napon i na metalnoj pločici na integrisnom kolu, pa ona mora da bude izolovana, u električnom pogledu, od hladnjaka. To se, na način prikazan na slici 4.40, ostvaruje pomoću podmetača koji je napravljen od materijala koji je električni izolator a dobro prenosi toplotu, i plastične podloške koja sprečava da zavrtanj dodirne hladnjak.

Na slici 4.38 su i dva osigurača od 2 A. Oni nisu obavezni ali su svakako korisni kao zaštita od nekih neočekivanih preopterećenja pojačavača ili kratkih spojeva između vodova za napajanje i mase.

Sa MT je obeležen mrežni transformator u ispravljaču. To je transformator koji ima dva sekundarna namotaja sa naponima od 18 V. Kraj jednog i početak drugog namotaja su spojeni i ta tačka se spaja sa masom pojačavača. Ako je ovaj spoj veće ostvaren pri izradi transformatora, za ovaj se kaže da ima sekundar od 36 V sa izvodom na sredini. Snaga transformatora je 60 W ili, tačnije, 60 VA.

Ako se dva pojačavača rađena po šemi sa slike 4.38 koriste u stereofonskokm pojačavaču oni mogu da se napajaju iz istog ispravljača. Tada je snaga transformatora 80 VA, a umesto dioda 1N5401, čija je maksimalna struja 3 A, treba koristiti druge sa strujom od 5 A. Takva je, na primer, BY550-100.

* Prva provera ispravnosti pojačavača se obavlja bez zvučnika i bez ikakvog audio signala na ulazu. Masa pojačavača se spoji sa nulom ispravljača (to je tačka M na slici 4.38), a tačka 3 sa tačkom 4. Između tačaka 1 i 2 se uključi multimetar sa preklopnikom u položaju za merenje jednosmerne struje. Zatim se zatvori mrežni prekidač (S). Multimetar bi trebalo da pokaže mirnu struju pojačavača koja se nalazi u opsegu od 50 mA do 70 mA.

Ako je mirna struja u dozvoljenim granicama, treba proveriti jednosmerni napon na izlazu. (U idealnom slučaju ovaj napon je jednak nuli.) Spoje se tačke 1 i 2, a multimetar, sa preklopnikom u položaju za merenje jednosmernih napona, veže između nožice 4 i mase. Sve je u redu ako napon nije veći +50 mV ili manji od –50 mV.

Ako su obe provere dale očekivane rezultate, treba isključiti napajanje (prekidačem S) i priključiti zvučnik i audio signal.

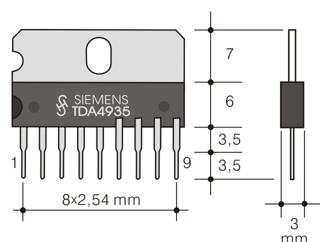
Detaljne podatke o kolu LM1875 možete da nađete u folderu Data Sheet

4.3.8. Pojačavač snage sa kolom TDA4935

TDA4935 je audio-pojačavač snage smešten u kućište SIL-9 (Single In Line, 9 pinova), koje je prikazano na slici 4.41.

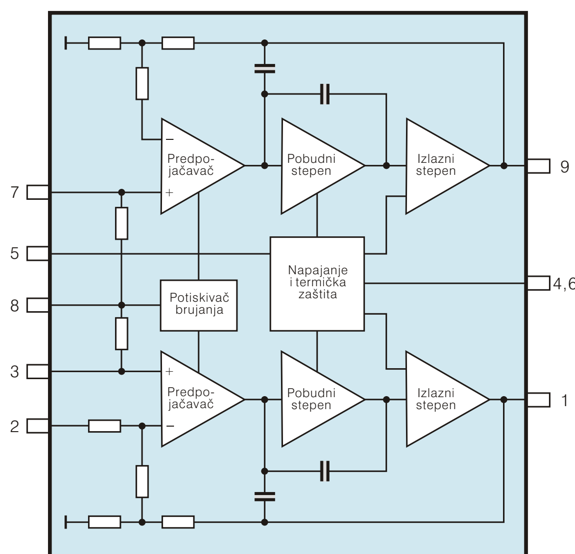
Na slici 4.42 je blok dijagram ovog kola. Kao što se vidu, u čipu se nalaze dva audio-pojačavača snage čiji su izlazi na nožicama 1 i 9, a ulazi na nožicama 2, 3 i 7. Pozitivan kraj ispravljača se spaja sa nožicom 5, a negativan sa nožicama 4 i 6. Pored pojačavača, u čipu su i kolo za potiskivanje šuma, kao i kola za termičku zaštitu i zaštitu od preopterećenja.

Kolo može da se koristi na dva načina, kao stereofonski pojačavač snage 2x15 W ili



1 - Izlaz desnog kanala
2 - + Ulaz desnog kanala
3 - – Ulaz desnog kanala
4 - Masa
5 - Pozitivan pol ispravljača
6 - masa
7 -– Ulaz levog kanala
8 - Potiskivanje brujanja
9 - Izlaz levog kanala

Slika 4.41. Izgled i dimenzije kola TDA4935



Slika 4.42. Blok šema kola TDA4935

kao monofonski pojačavač snage 30 W.

Jednosmerni napon napajanja kola je od 8 V do 30V (za R_{ZV}=8) odnosno od 8 V do 24 V (za R_{ZV}=4).

Osnovne karakteristike kola, pri naponu napajanja od 24 V, su:

* Mirna struja (jednosmerna struja koja teče kroz nožicu 5 kada nema ulaznog signala, tj. kada su nožice 2, 3 i 7 spojene sa masom) je 40 mA.

* Mirni izlazni napon (jednosmerni napon između nožice 1 i mase, odnosno između nožice 9 i mase, kada nema ulaznog signala) je 12 V, odnosno polovina napona napajanja.

* Maksimalna izlazna snaga je 2 x 12 W (pri k=1% na f=1 kHz) odnosno 2x15 W (pri k=10% na f=1 kHz).

* Koeficijent korisnog dejstva (efikasnost) pri P_{iz}=10 W je =70%.

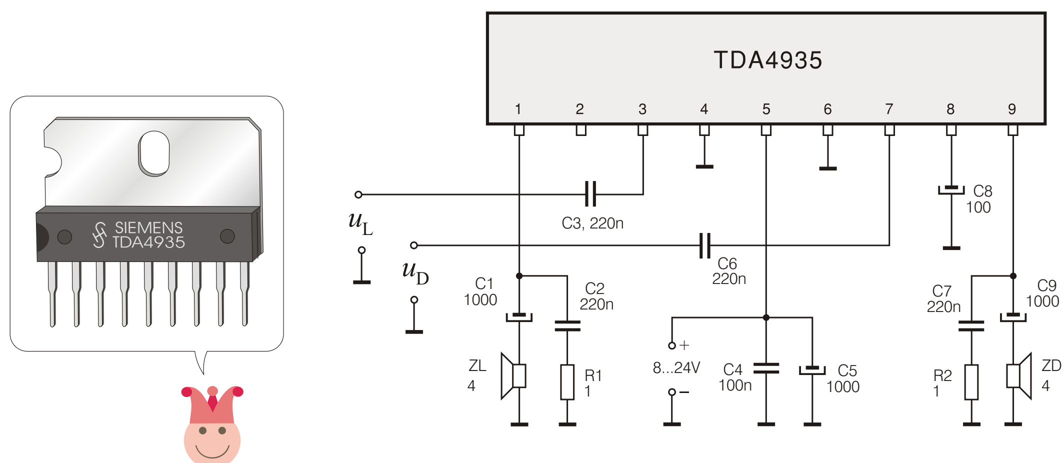
* Ukupna harmonična izobličenja (THD) u opsegu od 40 Hz do 15 kHz, pri snazi od 2 x 10 W, su k=0,2%.

* Propusni opseg (pri P_{iz}=6 W) je od 40 Hz do 60 kHz.

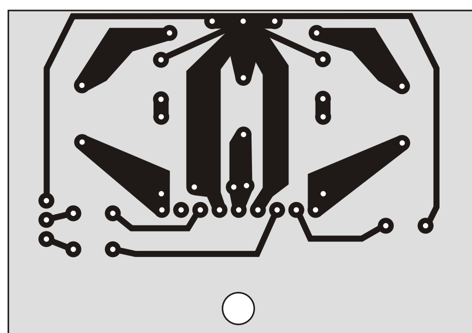
* Osetljivost je 350 mV.

Električna šema stereofonskog pojačavača snage sa kolom TDA4935 prikazana je na slici 4.43. Kao što se vidi, to je veoma jednostavna šema sa malo spoljnih komponenata. NF signali levog i desnog kanala (u_L i u_D) se, preko sprežnih kondenzatora C3 i C6, dovode na nožice 3 i 7 (između njih i mase), a zvučnici (ZL i ZD) su, preko kondenzatora C1 i C9, priključeni na nožice 1 i 9. Otpornici R1 i R2 sa redno vezanim kondenzatorima C2 i C7 obrazuju dva, već pominjana, Zobelova kola koja sprečavaju oscilovanje pojačavača na višim učestanostima. C4 i C5 razdvajaju ispravljač od pojačavača i obezbeđuju stabilan rad.

Praktična realizacija je prikazana na slici 4.44. Na slici 4.44-a je izgled štampane pločice gledane sa strane na kojoj su bakarne stopice i linije. Na slici 4.44-b je pogled na

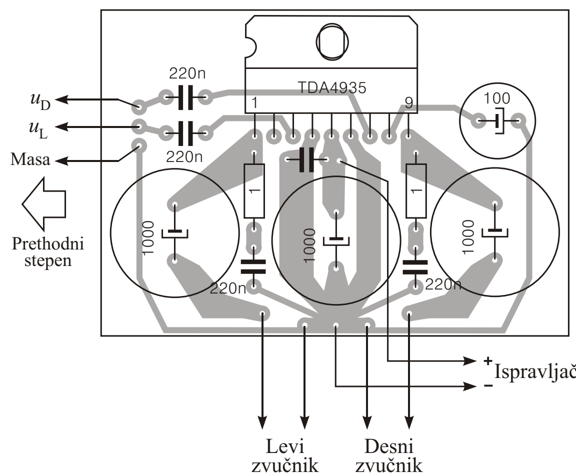


Slika 4.43. Stereofonski pojačavač snage sa TDA4935

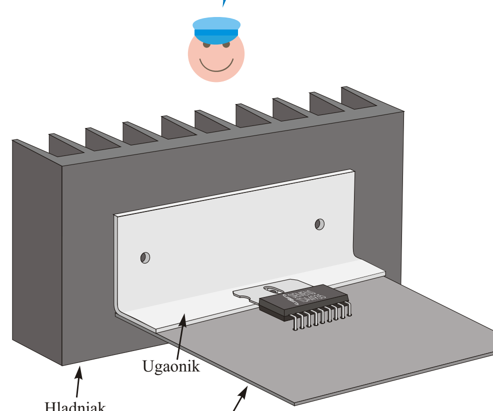


a.

Hladnjak može da bude znatno manjih dimenzija ako se koristi hladnjak koji se u kompjuterima koristi za hlađenje procesora. Naravno, tada mora da se koristi i ventilator koji stvara izvesnu buku. Ali, ona se zapaža samo pri reprodukciji vrlo tihe muzike. Pri glasnijim reprodukcijama buka se ne primećuje jer je muzika, kako se to stručno kaže, *maskira*.



b.

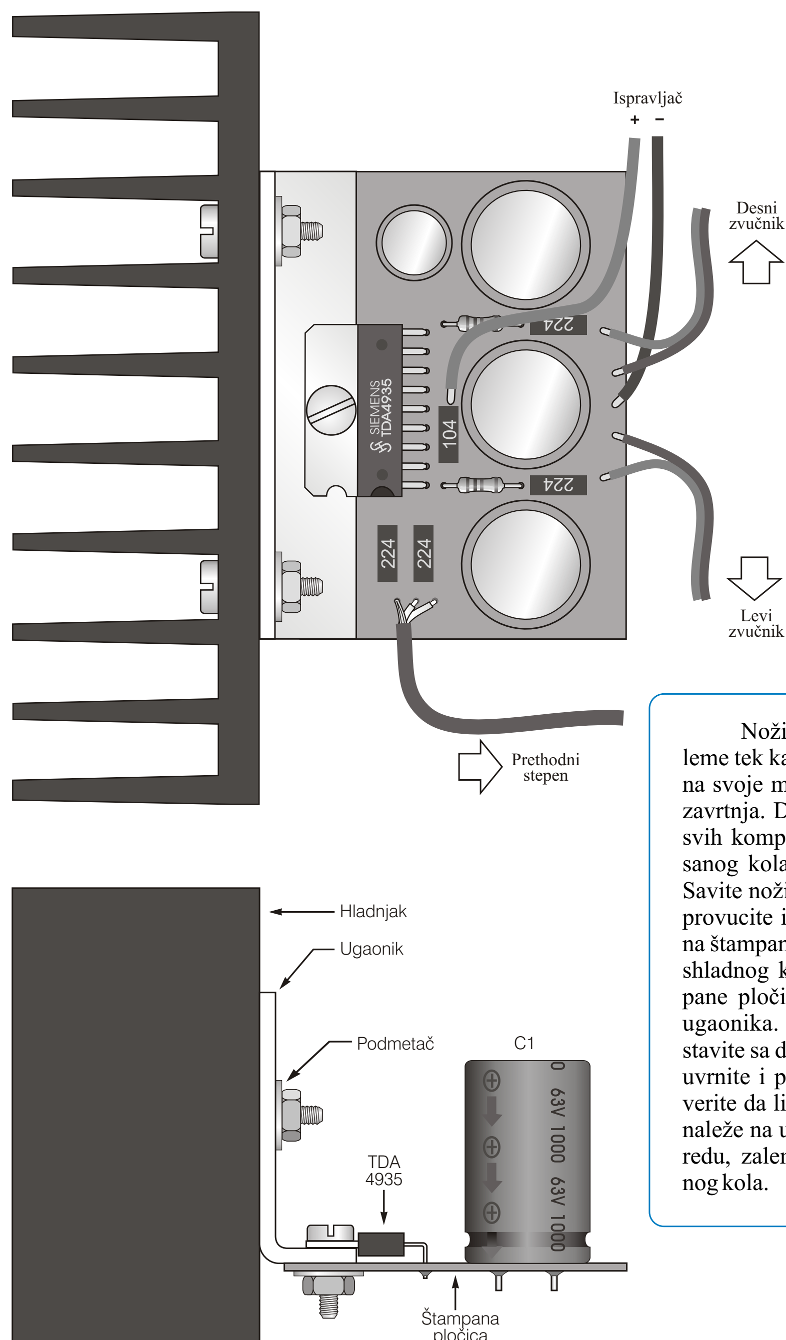


c.

Slika 4.44. Štampana pločica pojačavača sa slike 4.43: a - pogled na stranu bakra, b - pogled na stranu komponenata, c - montaža integrisanog kola na hladnjak pomoću ugaonika (zavrtnji nisu prikazani)

štampanu pločicu sa strane na kojoj su komponente. Prikazane su, radi lakšeg snalaženja i stopice i linije, mada se one ne vide jer je pločica napravljena od kaširanog pertinaksa, a ne od vitroplasta kao u prethodnim primerima. Štampano kolo je paradigma (školski primer) uzemljenja u jednu tačku. Izlazne struje oba pojačavača teku kroz deblje linije na slici. Pri punoj izlaznoj snazi ove struje su 1,8 A, pa može da bude korisno da se na ove bakarne linije nanese deblji sloj kalaja, što se radi pre bušenja rupica. Vrh lemilice se nasloni na početak bakarne linije i sačeka izvesno vreme da se bakar zagreje. Zatim se vrh tinol žice nasloni tako da dodiruje i bakar i vrh lemilice. Dok se kalaj topi i razliva po bakru lemilica i tinol žica se lagano pomeraju ka drugom kraju bakarne linije. Uz malo vežbe lako se ostvari da na bakarnoj liniji ostane sloj kalaja.

Stvarni izgled pojačavača je na slici 4.44-d. Gore je pogled odozgo a dole sa strane. Nožice integrisanog kola su savijene pod uglom od devedeset stepeni. Između štampane pločice i metalne pločice integrisanog kola je podvučen horizontalni deo ugaonika. To je komad aluminijumskog lima debljine oko 2 mm, dimenzija 62mmx15mm savijena pod pravim uglom. Na ugaoniku, hladnjaku i štampanoj pločici se izbuše rupe (tri na ugaoniku, dve na hladnjaku i jedna na štampanoj pločici) prečnika malo većeg od 3 mm i oni se zavrtnjima čvrsto povežu kao na slici 4.44-c. Od izuzetne je važnosti da površine ugaonika budu potpuno ravne tako da lepo naležu na rashladnu pločicu integrisanog kola i na hladnjak, jer se samo tada ostvaruje dobar prenos toplote sa kola na okolni vazduh. Ovaj prenos se



Nožice kola TDA4935 se leme tek kada se ugaonik postavi na svoje mesto i fiksira pomoću zavrtnja. Dakle, zalemite nožice svih komponenata osim integrisanog kola, i krajeve svih žica. Savite nožice integrisanog kola i provucite ih kroz njihove rupice na štampanoj ploči pa između rashladnog krilca na kolu i štampane pločice uvucite donji kraj ugaonika. Provucite zavrtanj, stavite sa druge strane podlošku i uvrnite i pritegnite maticu. Proverite da li rashladno krilce lepo naleže na ugaonik i, ako je sve u redu, zalemite nožice integrisanog kola.



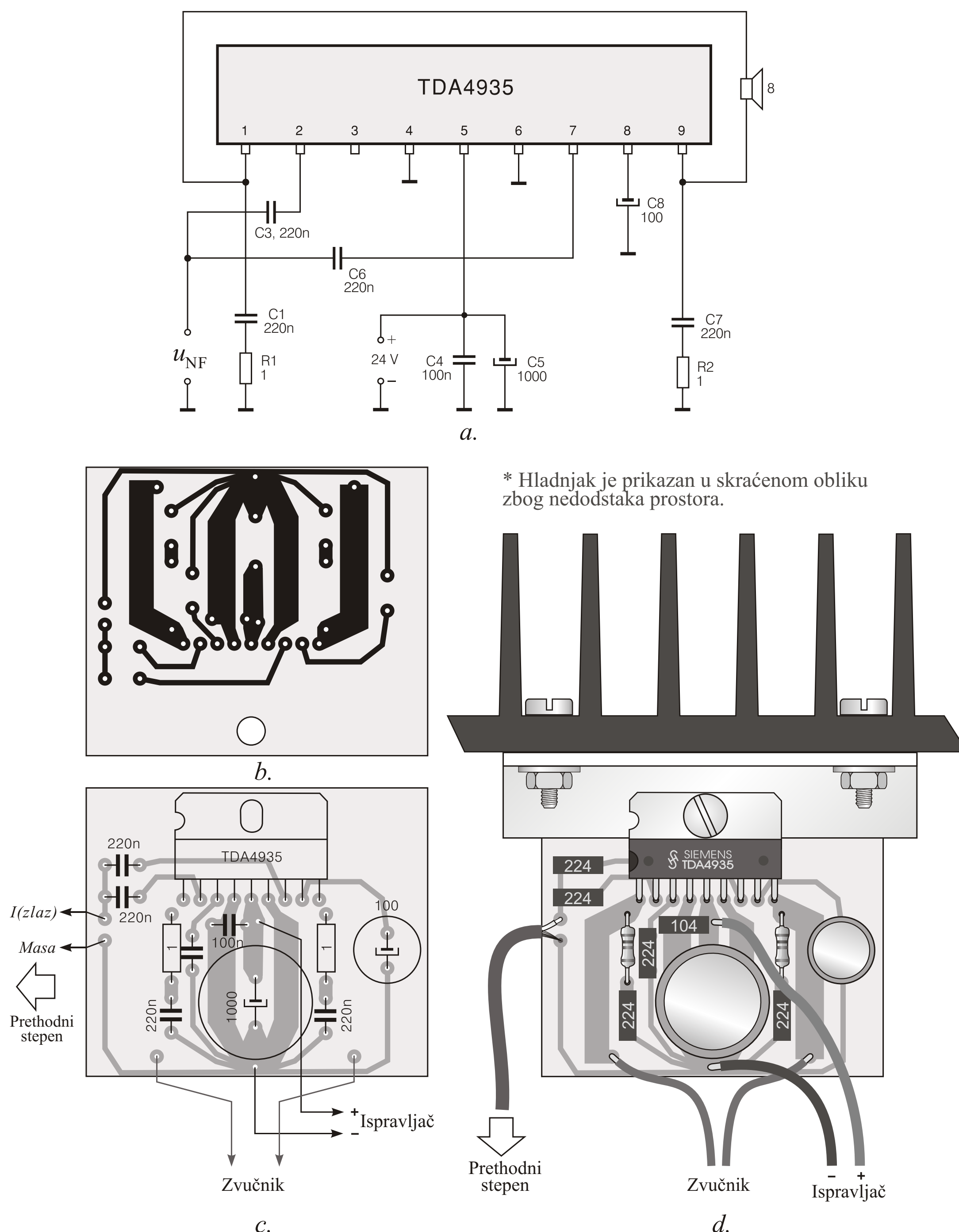
Slika 4.44-d. Stvarni izgled pojačavača sa slike 4.43: gore: pogled odozgo, dole: pogled sa strane.

poboljšava i tako što se pre montaže ugaonik premaže tankim slojem specijalne silikonske masti koja dobro provodi toplotu, a sprečava da se između površina koje se dodiruju zadrže vazdušni "džepovi".

Opisani pojačavač je dvokanalni stereofonski pojačavač snage 2x15 W. Električna šema jednokanalnog pojačavača snage 30 W izvedenog sa kolom TDA4935 prikazana je na slici 4.45-a. Lako se zapaža da je to šema u kojoj su dva pojačavača sa slike 4.42 vezana u mostnom spoju. Signal koji se pojačava se istovremeno dovodi na neinvertujući ulaz gornjeg pojačavača (nožica 7) i invertujući ulaz donjeg (nožica 2). Zvučnik se priključuje između nožica 1 i 9, bez sprežnih kondenzatora jer su jednosmerni naponi na ovim nožicama jednaki.

Štampana pločica i raspored komponenata na njoj su prikazni na slikama 4.45-b, 4.45-c i 4.45-d.

Sa dva TDA4935, po šemi sa slike 4.45-a, moguće je realizovati stereofonski poja-

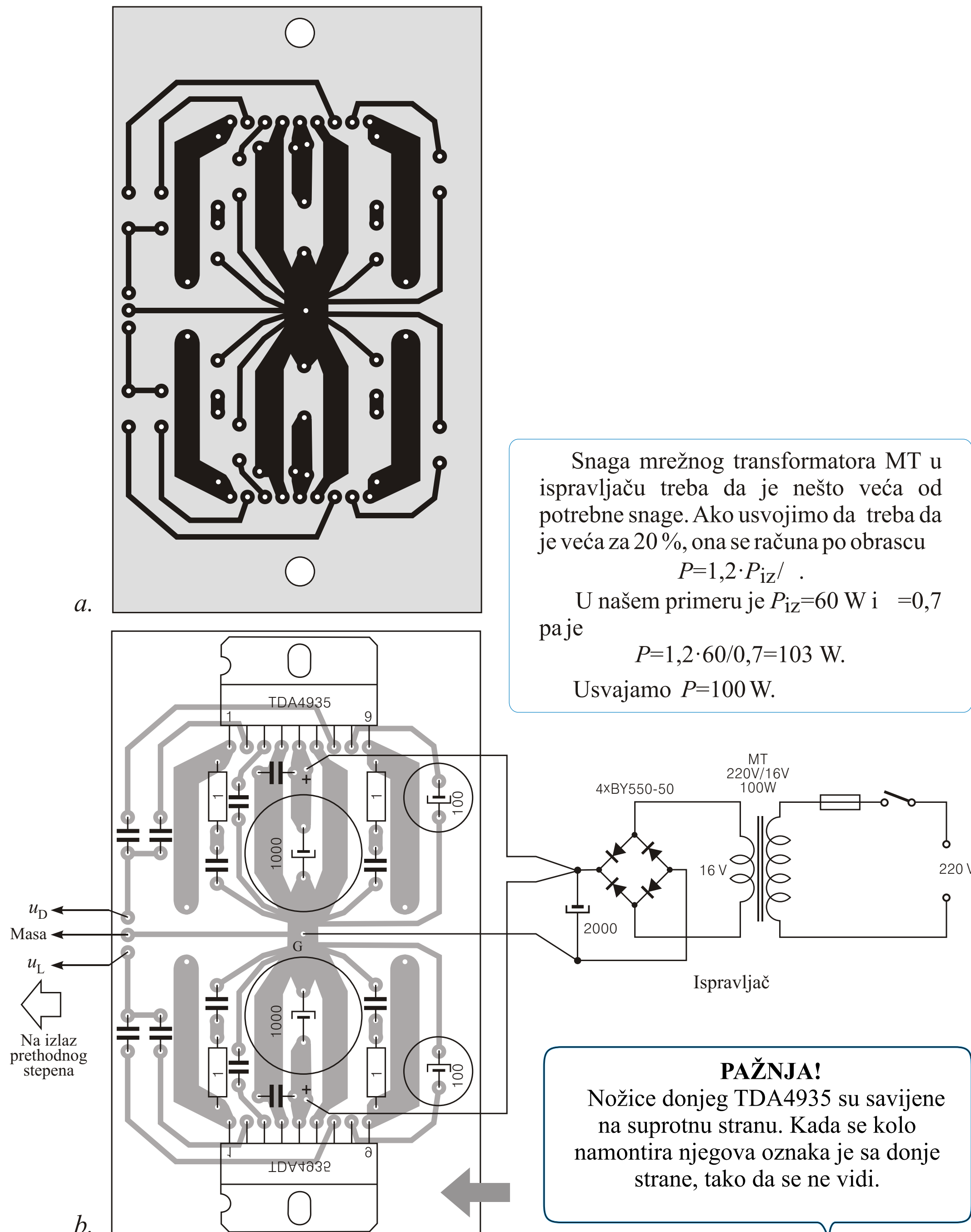


Slika 4.45-a. Pojačavač snage sa kolom TDA4935 u mostnom spoju: a - električna šema, b - štampano kolo, c - raspored komponenata, d - izgled gotovog uređaja

čavač snage 2 x 30 W. Praktična realizacija je prikazana na slikama 4.46 i 4.47.

Na slici 4.46-b nožice oba TDA4935 su savijene pod uglom od devedeset stepeni. Ali, nožice gornjeg kola su savijene nadole, kao na slici 4.44-c, a nožice donjeg TDA4935 su savijene suprotno, nagore.

Stopice na pločici koje se spajaju sa pozitivnim krajem ispravljača su obeležene znakom +. One se, debljim bakarnim žicama spajaju direktno sa gornjom nožicom elektrolitskog kondenzatora od 2000 F u ispravljaču. Donja nožica ovog kondenzatora se žicom povezuje sa stopicom G na pločici. Korisno je da sve tri žice u dužini od par centimetara od stopica +, + i G budu normalne u odnosu na površinu pločice.



Snaga mrežnog transformatora MT u ispravljaču treba da je nešto veća od potrebne snage. Ako usvojimo da treba da je veća za 20 %, ona se računa po obrascu

$$P=1{,}2\cdot P_{iz}/\ .$$

U našem primeru je P_{iz}=60 W i =0,7 pa je

$$P=1{,}2\cdot 60/0{,}7=103\ \text{W}.$$

Usvajamo P=100 W.

PAŽNJA!
Nožice donjeg TDA4935 su savijene na suprotnu stranu. Kada se kolo namontira njegova oznaka je sa donje strane, tako da se ne vidi.

Slika 4.46. Stereofonski pojačavač snage 2x30 W sa dva TDA4935

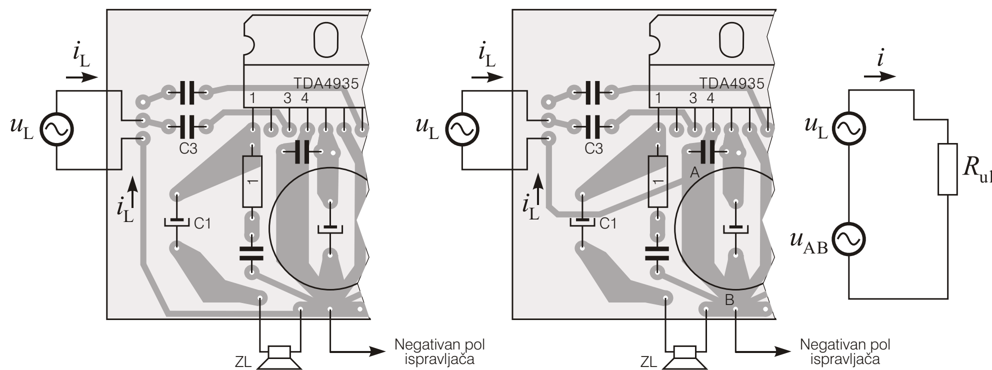
Projektovanje štampanog kola pojačavača snage nije tako jednostavan posao kao što izgleda. Problem je u tome što je izlazna snaga ovog pojačavača više stotina hiljada, pa i miliona puta veća od ulazne snage. Ako se čak i vrlo mali deo izlazne energije vrati na ulaz, pojačavač postaje nestabilan i vrlo lako se pretvara u oscilator i postaje neupotrebljiv.

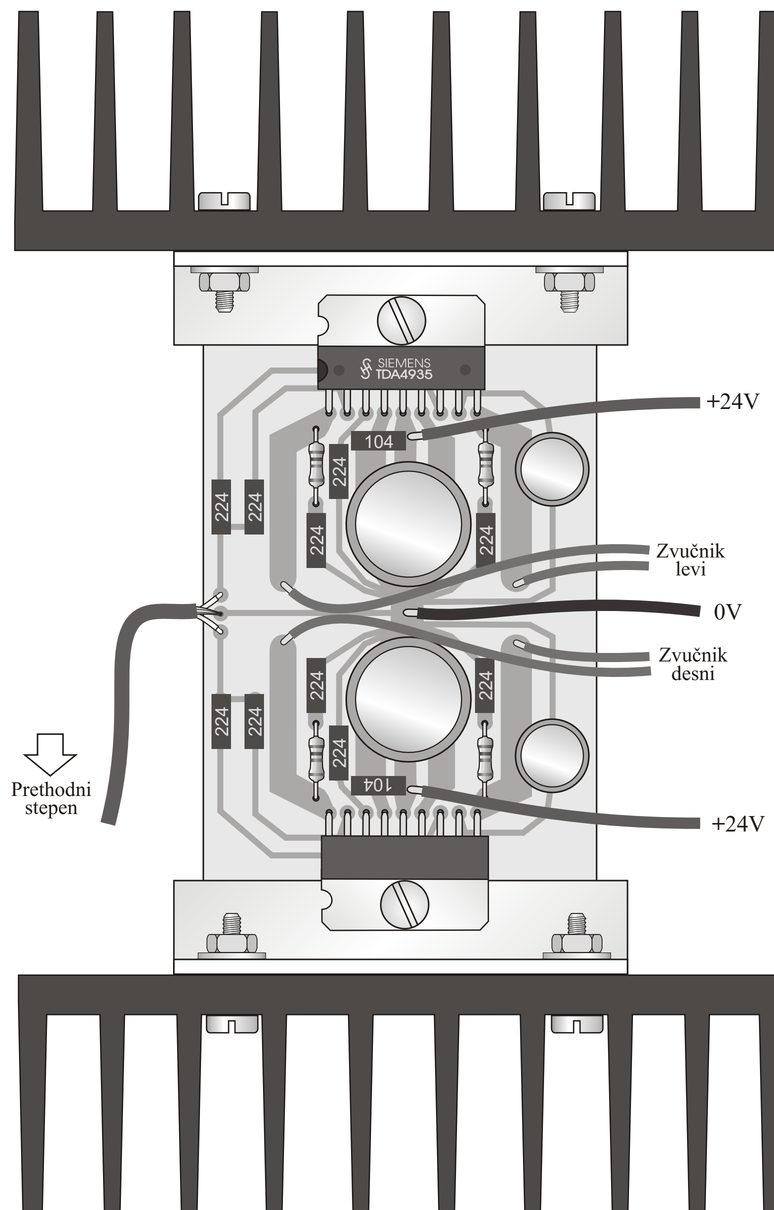
Na levoj slici je predstvaljen detalj sa slike 4.44. Signal koji se pojačava (u_L) se dovodi na ispravan način: između nožice 3 i minus pola ispravljača. Ulazna struja je $i_L=u_L/R_{ul}$. (R_{ul} je ulazna otpornost pojačavača.) Na desnoj slici je prikazano kako može da se pogreši. Iz nekog razloga štampa je nacrtana malo drugačije: donja stopica u koju se priključuje u_L spojena je sa delom štampe koja povezuje nožicu 4 i minus pol ispravljača. Bakarna površina između tačaka A i B ima izuzetno malu otpornost. Ali, kroz nju teče izlazna struja koja je vrlo velika, pa se između tačaka A i B javlja napon. Na primer, ako je R_{AB}=0,01 i i_{iz}=5 A, napon je: u_{AB}= 0,01·5=50 mV. Prema ekvivalentnoj šemi u desnom delu slike, ulazna struja je $i=(u_L+u_{AB})/R_{ul}$. Pošto se u_L dovodi na neinvertujući ulaz, naponi u_L i u_{AB} su u fazi pa struja i postaje veća. Sada i izlazna struja postaje veća, pa i u_{AB} postaje veći. Zbog toga struja i postaje još veća, pa i u_{AB} postaje još . . . Kao što se vidi, pojačavač pobuđuje sam sebe sve više i pretvara se u oscilator.

Ali, to nije sve. Povratna sprega može da se ostvari i preko kondenzatora koji obrazuju bakarna linija kroz koju teče ulazna struja i linija kroz koju teče ulazna struja.

Rešenje:

1. Sva uzemljenja u jednu tačku (onu u koju je priključen negativan pol ispravljača)
2. Što deblje linije kroz koje teče izlazna struja (deblja linija - manja otpornost)
3. Što više udaljiti linije kroz koje teku ulazna i izlazna struja (manja kapacitivnost)
4. Ulazna struja ne sme da teče kroz štampanu liniju kroz koju teče izlazna struja





Slika 4.47. Stereofonski pojačavač snage 2x30 W sa dva TDA4935

4.3.9. Pojačavač snage sa kolom TDA1517 (2x6 W)

Evo šta o kolu TDA1517 kaže njegov proizvođač PHILIPS u listi podataka (DATA SHEET) na Internet-u:

Generalni opis

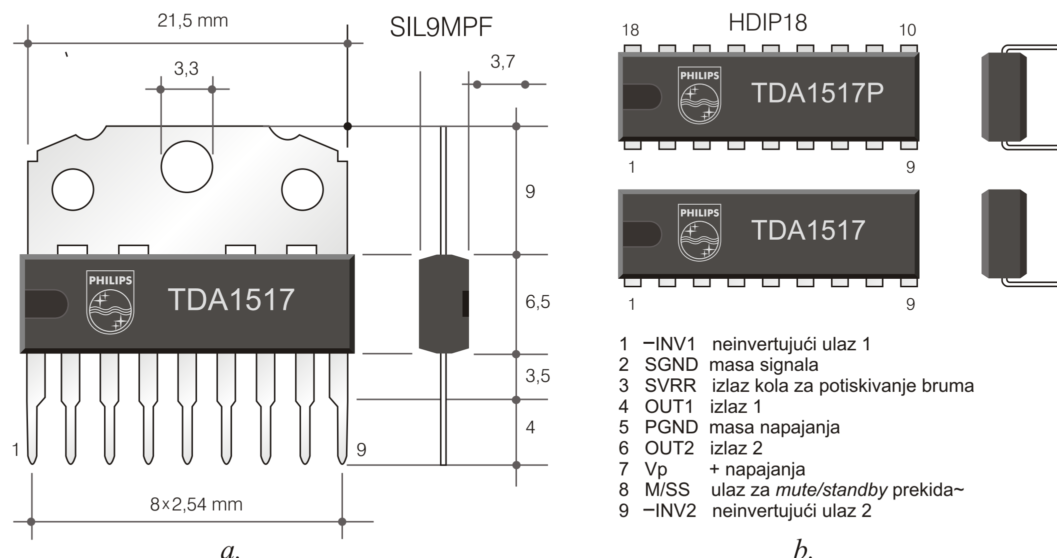
TDA1517 je integrisani dvostruki izlazni pojačavač klase B u plastičnom SIL (Single In Line) pakovanju za srednje snage sa rashladnim krilcem i u DIL (Dual In Line)

pakovanju od termo provodne plastike. Ova komponenta je prvenstveno napravljena za multimedijalne primene.

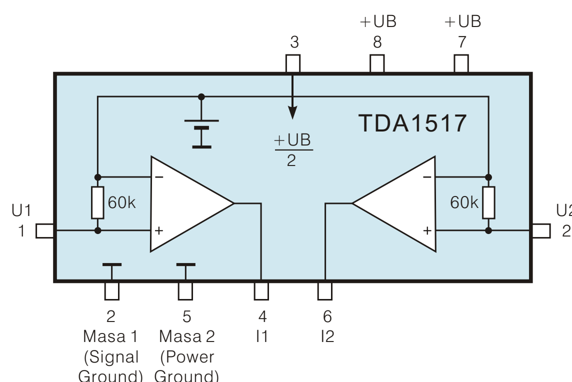
Karakteristike

* Minimalan broj spoljašnih komponenata
* Velika izlazna snaga
* Fiksno pojačanje
* Dobro potiskivanje bruma
* Mute/standby prekidač
* Zaštita od kratkog spoja sa masom ili sa + polom napajanja i za jednosmernu (DC) i za naizmeničnu (AC) struju
* Termička zaštita
* Zaštita od pogrešnog priključenja ispravljača (od zamene + i – kraja)
* Nema "klik"-ova pri uključenju i isključenju
* Zaštita od elektrostatičkih pražnjenja"

Izgled, dimenzije i raspored nožica kola su prikazani na slici 4.48. Kod kola u DIL kućištu nožice 10 do 18 nisu nigde priključene i mogu da se ostave da "vise" ili da se sve zaleme za masu.



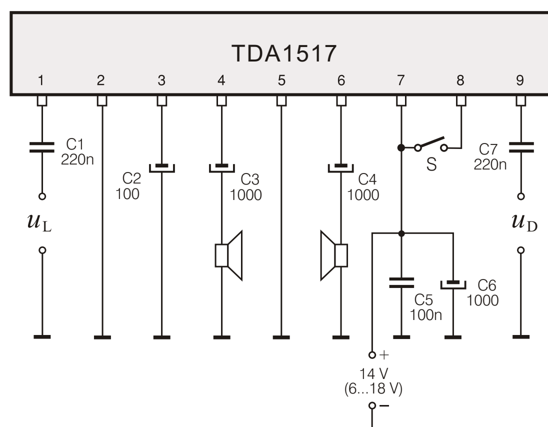
Slika 4.48. Izgled, dimenzije i raspored nožica kola TDA1517

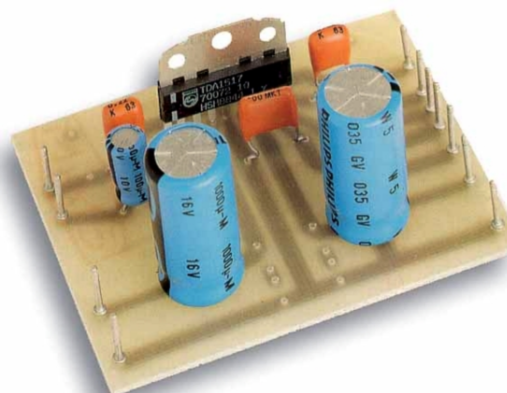


Slika 4.49. Blok šema kola TDA1517

Blok-šema kola TDA1517 je data na slici 4.49. Sa U1 i U2 su obeleženi ulazi, a sa I1 i I2 izlazi pojačavača. Zapazite da kolo ima dve različite mase. Prva je na nožici 2. To je tv. masa signala. Između nje i nožice 1 se dovodi ulazni signal jednog, recimo levog, kanala, a između nje i nožice 9 se dovodi ulazni signal drugog, desnog, kanala. To znači da je ova masa povezana sa masama svih prethodnih stepena. Druga masa je na nožici 5, na nju se priključuje negativan kraj ispravljača ili akumulatora i po jedan kraj svakog zvučnika i kondenza-tora od 100 nF. Ove dve mase su povezane bakarnim linijama na štampanoj pločici ali, pri projektovanju pločice treba paziti da ove linije budu razdvojene, što može da se ostvari već pominjanim zvezdastim uzemljenjem u jednu tačku.

Električna šema stereofonskog pojačavača snage i izgled eksperimentalne pločice





Slika 4.50. Električna šema i eksperimentalna pločica pojačavača snage sa kolom TDA1517

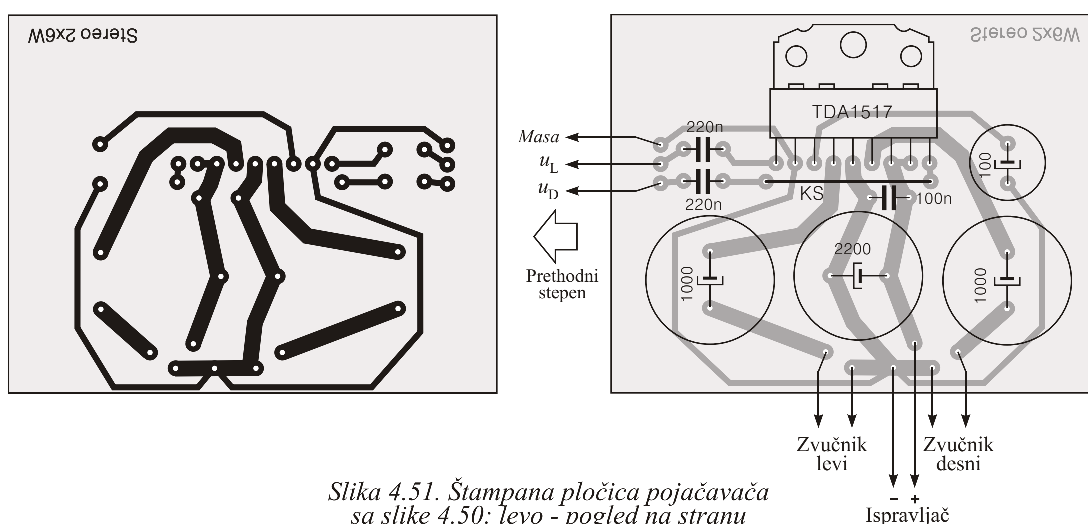
su dati na slici 4.50. Praćenjem bakarnih linija, koje se vide jer je pločica izrađena od vitroplasta, lako se zaključuje da su C3 i C4 dva velika elektrolitska kondenzatora, da je C2 mali elektrolitski kondenzator, i da su C1, C5 i C7 tri blok kondenzatora. Na ovoj pločici nema kondenzatora C6 jer se koristi laboratorijski ispravljač.

Pojačavač se uključuje zatvaranjem glavnog prekidača, koji nije prikazan, i tada se na nožici 7 pojavljuje jednosmerni napon napajanja. Ali pojačavač ne radi sve dok se ne zatvori i prekidač S, čime se pozitivan napon napajanja dovodi i na nožicu 8. Kada se ovaj prekidač otvori pojačavač prestaje sa radom i prelazi u stanje "spreman za rad" (standby). U ovom stanju pojačavač vuče iz ispravljača zanemarljivo malu struju (samo 0,1 A), a počinje sa radom odmah po zatvaranju prekidača. Ako se ova mogućnost ne koristi, nožice 7 i 8 se kratko spajaju.

Štampana ploča na slici 4.50 je laboratorijska pločica na kojoj se vrše merenja na pojačavaču, kako na onom koji je prikazan na slici tako i na drugima sa sličnim rasporedom nožica. Naravno, moguće je istu ovakvu pločicu koristiti i u praktičnom rešenju pojačavača, ali je, ipak, pravo rešenje pločica crtana baš za kolo i komponente koje se koriste. Takvo jedno rešenje štampane pločice za pojačavač sa slike 4.50 prikazano je na slici 4.51.

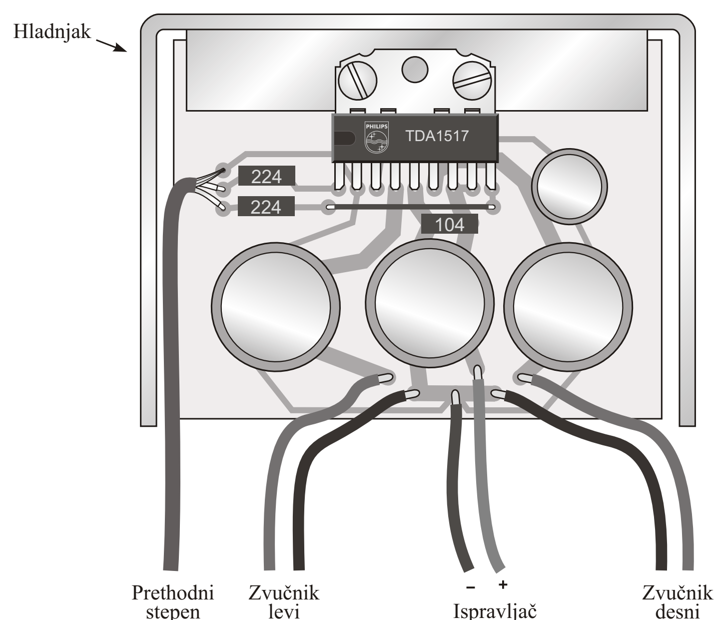
KS je kratkospojnik, komad žice kojim su spojeni desni kraj kondenzatora C7 i nožica broj 9.

* Zapazite na desnoj slici 4.51 kako je izvedeno zvezdasto uzemljenje: sve linije koje idu na masu idu posebno do stopice u koju je zalemljen negativni pol ispravljača. O ovome je već bilo reči u prethodnom projektu, a biće i u kasnijim, jer je uzemljenje veoma važana stvar.



Slika 4.51. Štampana pločica pojačavača sa slike 4.50: levo - pogled na stranu bakra, desno - pogled na stranu komponenata

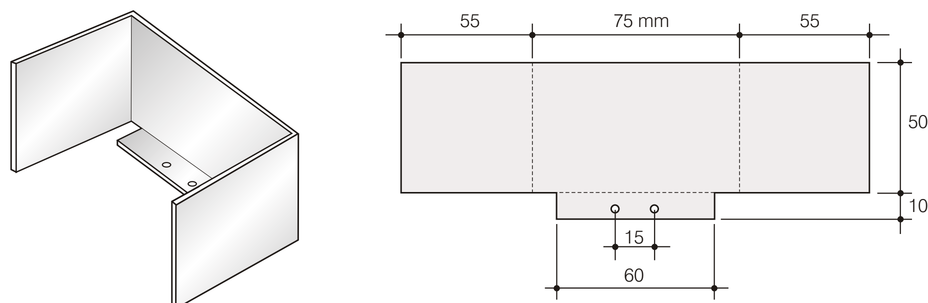
Izgled kompletnog pojačavača je na crtežu na slici 4.52. Umesto fabričkog hladnjaka koristi se hladnjak iz "domaće radinosti". On je, prema slici 4.53, napravljen od aluminijumskog lima debljine 2 mm. U gornjem delu ove slike su izgled i dimenzije lima, a u donjem oblik hladnjaka. Ako u kutiji u koju se smešta pojačavač ima mesta, nije potrebno savijati bočne strane hladnjaka.



Slika 4.52. Pojačavač sa slike 4.50

U krajnjem slučaju, kao hladnjak može da se koristi bilo kakva metalna ploča koja se zavrtnjem fiksira na rashladno krilce kola.

Na kraju ovog dela dati su, u tabelarnom obliku, još neki podaci o kolu TBA1517, koji mogu da budu od koristi pri praktičnoj realizaciji pojačavača. Mnogo više informacija ima na Internetu.



Slika 4.53. Hladnjak integrisanog kola sa slike 4.52

Philips Semiconductors — Product specification

2x6 W stereo power amplifier — TDA1517; TDA1517P

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
V_P	supply voltage		6.0	14.4	18.0	V
I_{ORM}	repetitive peak output current		-	-	2.5	A
$I_{q(tot)}$	total quiescent current		-	40	80	mA
I_{sb}	standby current		-	0.1	100	µA
I_{sw}	switch-on current		-	-	40	µA
T_c	crystal temperature		-	-	150	°C
P_o	output power	THD = 0.5%; note1 THD = 10%; note 1	4 5.5	5 6.0	- -	W W
THD	total harmonic distortion	P_o = 1 W	-	0.1	-	%

AC CHARACTERISTICS

V_P = 14.4 V; R_L = 4 Ω; f = 1 kHz; Tamb = 25 °C; measured in Fig.6; unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS MIN.	TYP.	MAX.	UNIT	
P_o	output power	THD = 0.5%; note1 THD = 10%; note 1	4 5.5	5 6.0	- -	W W
THD	total harmonic distortion	P_o = 1 W	-	0.1	-	%
flr	low frequency roll-off	at-3 dB; note 2	-	45	-	Hz
fhr	high frequency roll-off	at -1 dB	20	-	-	kHz
Gv	closed loop voltage gain		19	20	21	dB
SVRR	supply voltage ripple rejection	note 3				
	on		48	-	-	dB
	mute		48	-	-	dB
	standby		80	-	-	dB
|Zi|	input impedance		50	60	75	kΩ
Vno	noise output voltage					
	on	Rs = 0 Ω; note 4 -	50	-	µV	
	on	Rs = 10 Ω; note 4	-	70	100	µV
	mute	note 5	-	50	-	µV
αcs	channel separation	Rs = 10 Ω	40	-	-	dB
|ΔGv|	channel unbalance		-	0.1	1	dB

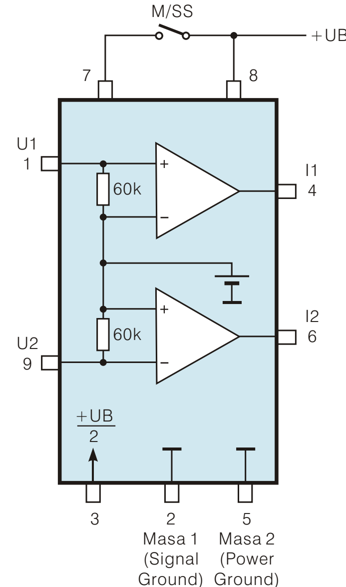
Notes

1. Output power is measured directly at the output pins of the IC.
2. Frequency response externally fixed.
3. Ripple rejection measured at the output with a source impedance of 0 W, maximum ripple amplitude of 2 V (p-p) and a frequency between 100 Hz and 10 kHz.
4. Noise voltage measured in a bandwidth of 20 Hz to 20 kHz.
5. Noise output voltage independent of Rs (VI = 0 V).

4.3.10. Pojačavač snage sa kolom TDA1519A (22 W ili 2x11W)

Projekat opisan na početku ove glave dobio je zvučno ime "Najjednostavniji pojačavač snage". Ali, kao što to često biva i sa ostalim stvarima u životu, pa se nađe bolji i od najboljeg, ili gori od najgoreg, našao se i pojačavač snage koji je još jednostavniji od onog koji smo proglasili za najjednostavniji. To je pojačavač sa oznakom TDA1519A. Postoji i

kolo sa oznakom TDA1519B koje je potpuno isto, ali, zbog manjih dimenzija i drugačije konstruisanog hladnjaka, ima oko dva puta manju izlaznu snagu. Njihova blok-šema je data na slici 4.54. Kao što se vidi, u čipu su dva posebna pojačavača čiji su ulazi na nožicama 1 i 9 (između njih i Mase 1), a izlazi na nožicama 4 i 6 (između njih i Mase 2). Nožice 2 i 5 se spajaju sa Masom 2, na koju je priključen i negativni kraj ispravljača. Na nožice 7 i 8 se priključuje pozitivan kraj ispravljača. Prekidač između nožica 7 i 8 nije neophodan. On se, inače, naziva "*stand-by"* prekidač i kada je otvoren pojačavač ne radi ali je potpuno spreman da proradi istog trenutka kad se prekidač zatvori. (Naravno, pojačavač prestaje da radi i kada se otvori glavni prekidač koji se nalazi u kolu primara mrežnog transformatora u ispravljaču. Ali kad se ovaj prekidač zatvori, pre početka normalnog rada pojačavača, iz zvučnika se čuje neprijatan ton, koji je posledica punjenja elektrolitskih kondenzatora, naročito onog preko koga se zvučnik priključuje na izlaz pojačavača). Nožica 3 se ili ne koristi ili se između nje i mase vezuje elektrolitski kondenzator. Inače, jednosmerni napon na ovoj nožici je jednak polovini napona kojim se kolo napaja iz ispravljača.



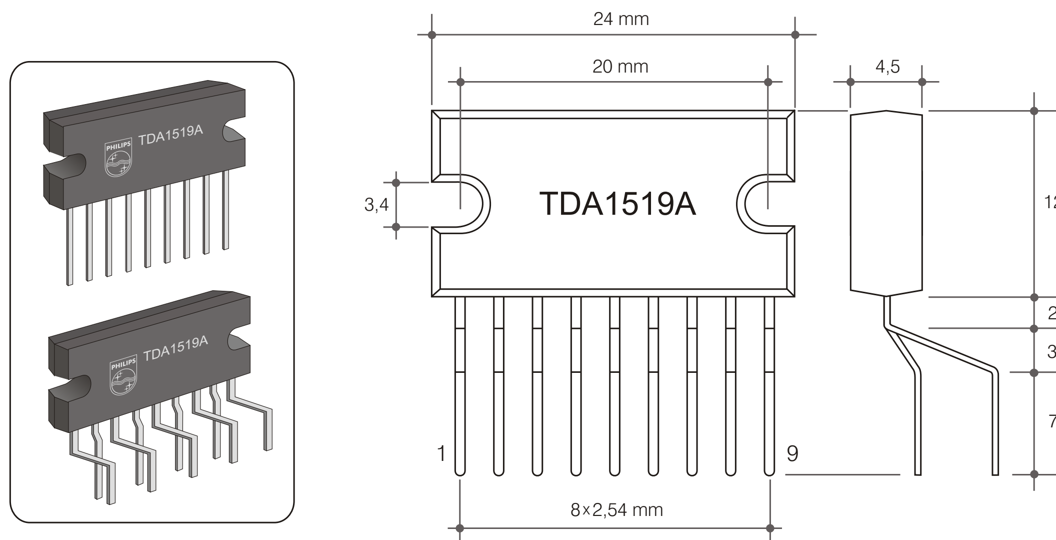
Slika 4.54. Blok šema kola TDA1519 A i TDA1519B

Pri naponu napajanja od 14,4 V (potpuno napunjen, neopterećen automobilski akumulator) i sa zvučnikom od 4 , izlazna snaga u mono konfiguraciji (sa pojačavačima u BTL (mostnom) spoju) je 22 W (TDA1519A), odnosno 12 W (TDA1519B). U stereo konfiguraciji (svaki pojačavač za sebe) snaga je 2 x 11W, odnosno 2 x 6 W.

Ostale važnije karakteristike kola su:

* Minimalan broj spoljnih komponenata u BTL spoju.

* Pojačanje napona (pri napajanju od 14,4 V sa zvučnikom od 4) je 46 dB pri mono radu, odnosno 40 dB pri stereo radu.



Slika 4.55. Izgled i dimenzije kola TDA1519A

* Odlično potiskivanje brujanja koje potiče iz ispravljača.

* Termička zaštita - kolo se automatski isključuje ako se pregreje i ostaje isključeno dok se ne ohladi.

* Zaštita od kratkog spoja između izlaznog priključka i mase ili pozitivnog kraja ispravljača.

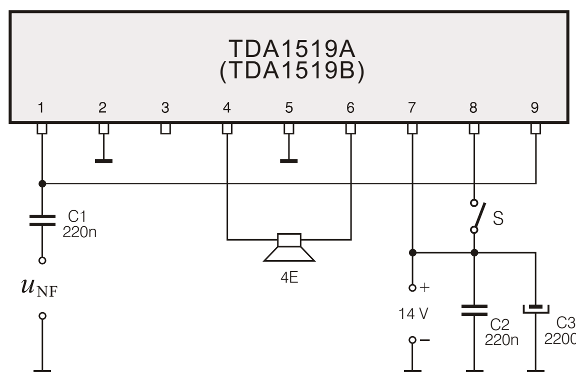
* Zaštita od pogrešnog priključivanja ispravljača.

* Mogućnost *Stand-by* rada.

Izgled i dimenzije kola TDA1519 su date na slici 4.55. Dimenzije koje nisu prikazane mogu da se odrede tako što se izmere lenjirom i podele sa dva, jer je desni deo slike u razmeri 2:1.

Električna šema pojačavača snage sa kolom TDA1519A(B) maksimalne izlazne snage 22 W (TDA1519A) ili 12 W (TDA1519B) prikazana je na slici 4.56. Zvučnik otpornosti 4 je priključen između nožica 4 i 6, što znači da su pojačavači u mostnom spoju. Između nožice 7 i mase treba vezati elektrolitski kondenzator kapacitivnosti 2200 F, ako takav već ne postoji na izlazu ispravljača.

Na slici 4.57 su električna šema i fotografija štampane pločice stereofonskog pojačavača snage izvedenog sa kolom TDA1519A(B). Blok kondenzatori koji se nalaze neposredno uz kolo, levo i desno od njega, su sprežni kondenzatori od 220 nF, a blok



Slika 4.56. Monofonski pojačavač snage sa TDA1519A(B) snage 22(12) W

Slovo E u oznaci otpornika stoji umesto   , a u oznaci kondenzatora umesto pF.
Na primer, oznake
1E5, 4 E i 22 E
kad su pored otpornika
označavaju
1,5   , 4   i 22   ,
a kad su pored kondenzatora
označavaju
1,5 pF, 4 pF i 22 pF.

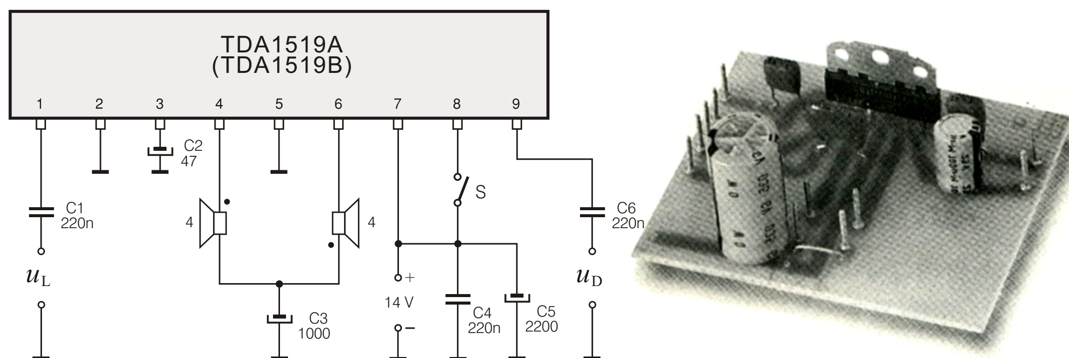


kondenzator ispred kola je kondenzator od 100 nF za sprečavanje oscilovanja. Manji elektrolitski kondenzator je kondenzator od 47 uF, a veći je kondenzator od 2200 uF.

* Na prethodnim fotografijama nisu prikazani hladnjaci. Tako će biti i na sličnim fotografijama u sledećim projektima pojačavača snage. Bez njih se može ako se kola napajaju manjim jednosmernim naponima i ako se iz njih ne "izvlači" maksimalna izlazna snaga. Za punu izlaznu snagu, hladnjaci su obavezni i oni mogu da budu realizovani na način opisan u prethodnim projektima .

* Ako dva prethodna pojačavača pokazuju znake nestabilnog rada, tada na slici 4.56, paralelno zvučniku, između nožica 4 i 6, treba dodati rednu vezu otpornika otpornosti 2,2   i kondenzatora kapacitivnosti 100 nF, a na slici 4.59 treba između nožice 4 i mase i između nožice 6 i mase vezati po jednu rednu vezu pomenutog otpornika i kondenzatora.

* Tačke pored zvučnika na slici 4.57 označavaju sledeće. Zvučnici su potpuno isti. Ako njihove krajeve označimo brojevima 1 i 2, tada levi zvučnik treba povezati tako da mu je kraj 1 spojen sa nožicom 4, a desni tako da mu je kraj 2 spojen sa nožicom 6. Ako se ne postupi tako, zvučni pritisci koje stvaraju zvučnici će se delimično poništavati i reprodukcija zvuka će biti znatno slabija.

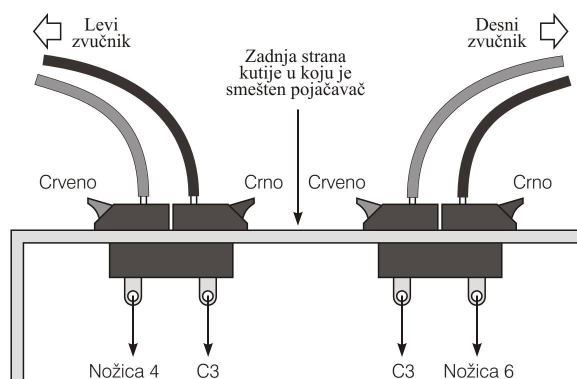


Slika 4.57. Stereofonski pojačavač sa TDA1519A(B) snage 2x11 (2x6) W

Povezivanje zvučnika treba obaviti prema slici 4.58. Na njoj su prikazane dve utičnice postavljene jedna pored druge, mada se one češće postavlaju jedna iznad druge.

.

Ovakve utičnice su izuzetno dobre jer nisu potrebni utikači. Sa krajeva žica spojenih sa zvučnikom se skine izolacija, u dužini oko 1 cm. Pritisne se mala poluga, označena sa "crno" ili "crveno" i kraj ugura unutra. Otpusti se poluga, a opruga u unutrašnjosti utičnice ostvari čvrst i vrlo pouzadan spoj sa nožicom.



Slika 4.58. Priključivanje zvučnika sa slike 4.57

4.3.11. Pojačavač snage sa TDA1011/TDA1015 (6,5 W/4 W)

Pojačavači TDA1011 i TDA1015 su pin kompatibilna (pin-compatible) kola. To znači da su kola u istim kućištima (SIL-9) i da imaju isti raspored i iste oznake nožica. Jedina razlika je u veličini napona napajanja, koji se za kolo TDA1011 nalazi u granicama od 3,6 V

Slika 4.59. Audio pojačavač sa kolom TDA1011

do 24 V, a za kolo TDA1015 od 3,6 V do 18 V. U svim uređajima u kojima se koristi kolo TDA1015 može da se koristi i kolo TDA1011. Može i obrnuto, ali samo ako napon napajanja nije veći od 18 V.

Električna šema pojačavača sa TDA1011/TDA1015 je data na slici 4.59. Kao što se vidi, u čipu su dva bloka audio pojačavača: predpojačavač (PP) i pojačavač snage (PS).

Osnovne karakteristike ovih kola su:

* Predpojačavač (PP) i pojačavač snage (PS) su razdvojeni, izlaz predpojačavača je na nožici 7 (između nje i mase), a ulaz u pojačavač snage je na nožici 6 (između nje i mase). Ovo razdvajanje je korisno jer omogućuje da se između predpojačavača i pojačavača snage ubaci kolo za regulaciju jačine, kolo za regulaciju boje tona, balans potenciometar, neki filtar itd. Na slici 4.59 je ubačen NF filter (otpornik od 5,6 k i kondenzator od 1,8 nF) kojim se vrši potiskivanje VF smetnji.

* U oba kola je ugrađena i termička zaštita, ako se pregreje, kolo se automatski isključi i ostaje tako dok se ne ohladi.

* Velika ulazna impedansa (veća od 100 k)

* Mala mirna struja (tipično oko 14 mA sa napajanjem od 12 V).

* Potiskivanje VF smetnji. U prostoru u kome živimo postoje VF (visoko frekventna) elektromagnetna polja koje stvaraju razni radiopredajnici, kao i razne električne mašine i uređaji. Pod dejstvom ovih polja u svim provodnicima se indukuju električni naponi. Ako oni prodru na ulaz nekog od pojačavačkih stepena, biće pojačani i u zvučniku će se čuti kao krčanje, pištanje i sl. U glavi u kojoj su opisani oklopljeni kablovi, kao i u glavi o projektovanju štampanih ploča audio-pojačavača, biće više reci o zaštiti od ovih smetnji. U kola TDA1011(15) su ugrađena kola koja u izvesnoj meri potiskuju VF smetnje.

* Otpornost zvučnika je 4 . Sa tom otpornošću zvučnika, izlazna snaga oba kola je 1W (sa napajanjem od 6 V), 2,3 W (sa napajanjem od 9 V) i 4,2 W (sa napajanjem od 12 V). Kolo TDA 1011 može da dâ i snagu od 6,5 W sa napajanjem od 16 V.

* Naponsko pojačanje predpojačavača je 23 dB a pojačavča snage 29 d B, pa je ukupno pojačanje:

$$A=52\ \text{dB}.$$

* Na slici 4.60 je prikazna štampana pločica: gore je pogled na stranu bakra, dole na stranu komponenata, a gore desno je fotografija pločice sa komponentama. To je štampano kolo preuzeto iz Filipsove publikacije DATA SHEET za TDA1011. Autoru ovog teksta se ovo štampano kolo ne dopada mnogo, ali Filips je - Philips. Ulaz u pojačavač su dva pina (nožice) na desnoj strani pločice, a izlaz, na koji se priključuje zvučnik, su dva pina sa leve strane. Pozitivan kraj baterije se priključuje na pin u sredini, a negativan na pin u gornjem levom uglu, koji je na crtežima štampane pločice obeležen znakom minus.

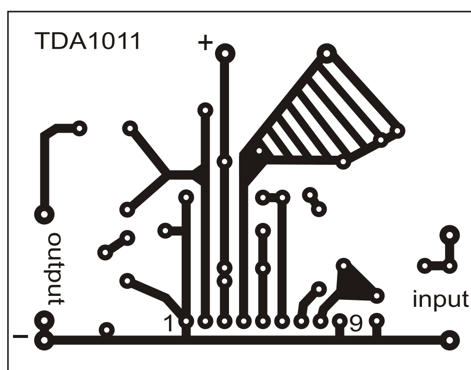
Pločica je univerzalnog tipa i koristi se za testiranje i drugih kola, pa na njoj ima i stopica koje se u ovoj prilici ne koriste. Na slici postoji i jedno veće trougaono ostrvo koje nije potpuno ispunjeno bakrom. To se radi zato što se lemljenje komponenata u fabričkoj proizvodnji obavlja u tzv. kalajnim kupatilima u kojima velike bakarne površine prouzrokuju savijanja i oštećenja pločice.

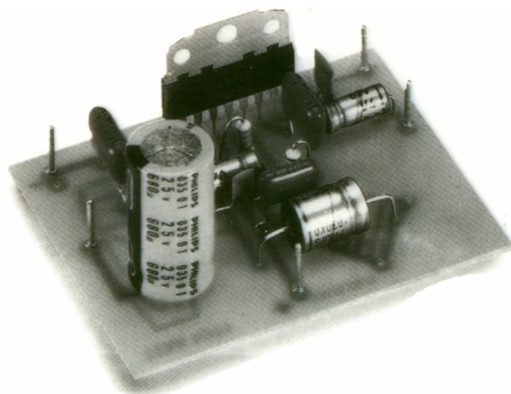
Na fotografiji nema hladnjaka. U tom slučaju maksimalna izlazna snaga je oko 2,5 W. Puna snaga može da se ostvari sa jednostavnim hladnjakom kao što je onaj na slici 4.61.

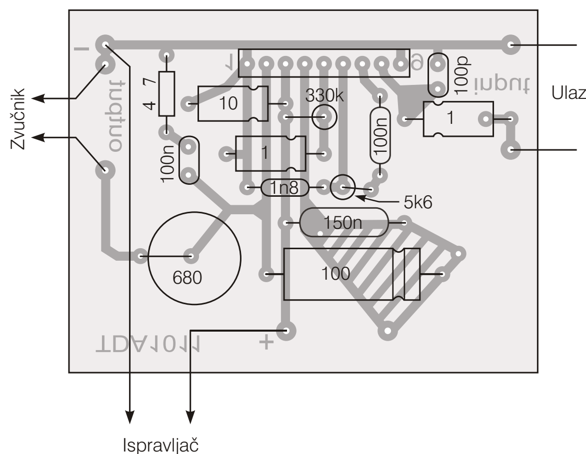
Na slikama 4.62, 4.63, 4.64 i 4.65 data su četiri dijagrama sa karakteristikama koje omogućavaju bolje sagledavanje osobina i mogućnosti pojačavača sa slike 4.59.

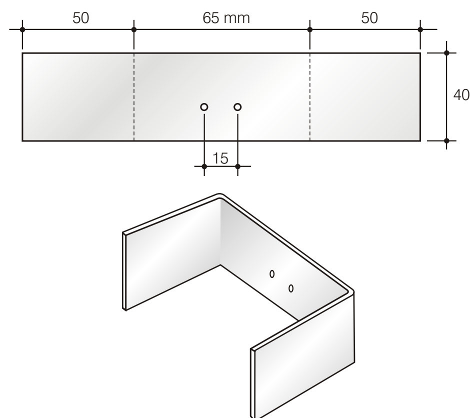
* U belim poljima unutar dijagrama su uslovi pod kojima su vršena merenja.

* Na slici 4.62 na ordinati je relativno pojačanje. $A_{1\text{kHz}}$ je pojačanje na f=1 kHz.



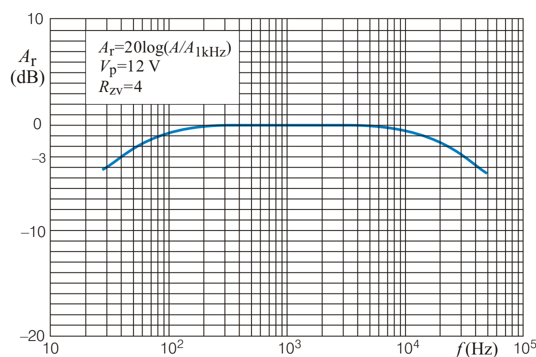




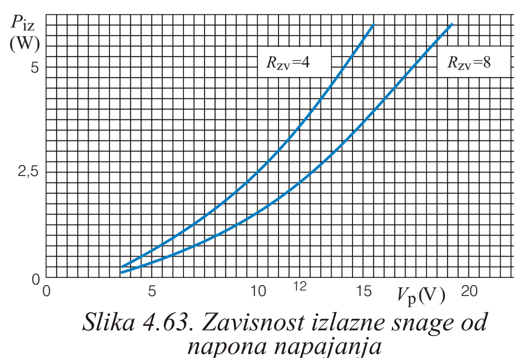


Slika 4.60. Praktična realizacija kola sa slike 4.59

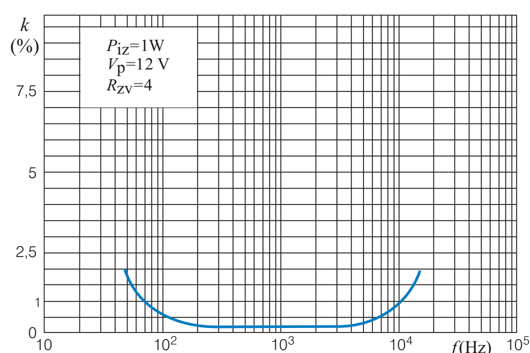
Slika 4.61. Hladnjak TDA1011 sa slike 4.60



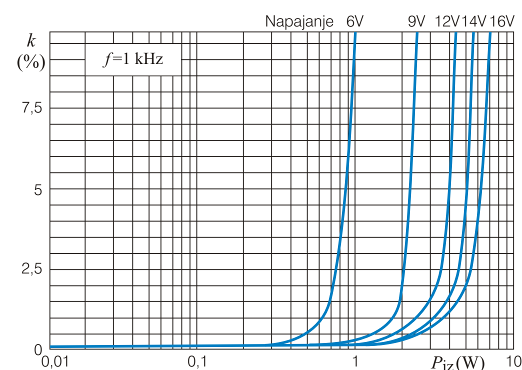
Slika 4.62. Zavisnost pojačanja od učestanosti



Slika 4.63. Zavisnost izlazne snage od napona napajanja



Slika 4.64. Zavisnost ukupnih harmoničnih izobličenja od učestanosti



Slika 4.65. Zavisnost ukupnih harmoničnih izobličenja od izlazne snage

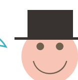
Primeri korišćenja dijagrama

1. Slika 4.62: Granične učestanosti su f_d=40 Hz, f_g>30 kHz

2. Slika 4.63: Pri napajanju od 12 V izlazna snaga je 2,25 W sa zvučnikom otpornosti 8 . Pri istom napajanju ali sa zvučnikom 4 , snaga je oko 3,5 W.

3. Slika 4.64: Ako su dozvoljena harmonična izobličenja 1%, propusni opsege je od 70 Hz do 10 kH,a pri 2% od manje od 50 Hz do oko 14 kHz.

4. Slika 4.65: Ako su dozvoljena harmonična izobličenja 1%, a napajanje je 12 V, izlazna snaga je oko 2,5 W.

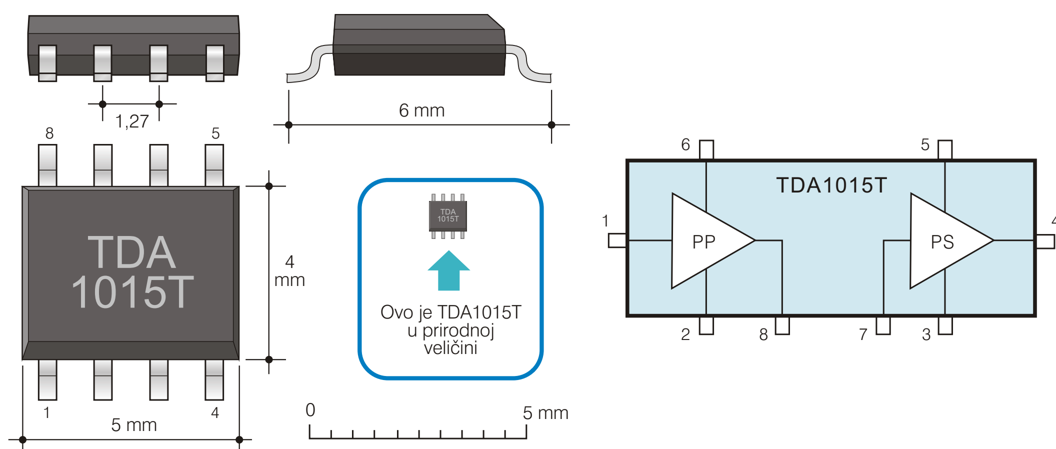


4.3.12. Pojačavač sa TDA1015T snage 500 mW

TDA1015T je mini varijanta kola TDA1011. Oba ova kola imaju iste karakteristike, jedina razlika je u snazi. Maksimalna izlazna snaga TDA1015 je 500 mW, što je posledica činjenice da je ono pravljeno kao SMD komponenta i smešteno je u kućište *"8-lead mini-pack; plastic (SO8)"*

Oblik, dimenzije i blok šema kola su dati na slici 4.66. To je kompletan audio pojačavač predviđen za korišćenje u prenosnim uređajima.

Maksimalna izlazna snaga je 500 mW, što je, kao što je već ranije rečeno, ,"puna



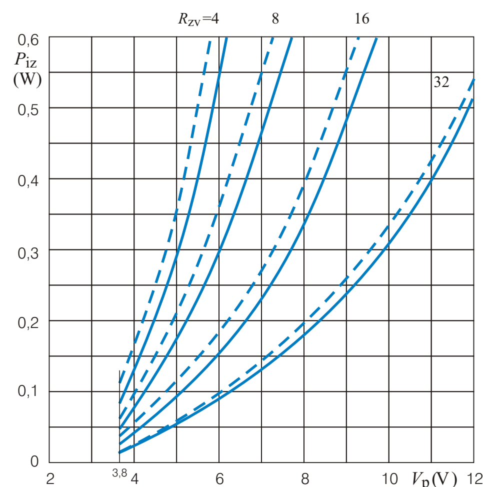
Slika 4.66. Oblik, dimenzije i blok šemakola TDA1015T

kapa" za prenosne radio-prijemnike, MP3 plejere i slično. Izlazna snaga zavisi od veličine jednosmernog napona napajanja i od veličine otpornosti zvučnika (ili slušalica), i može da se nađe pomoću dijagrama na slici 4.67.

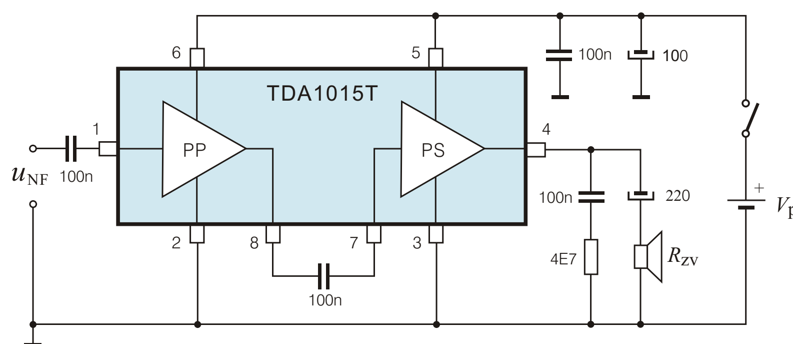
Električna šema audio pojačavača sa kolom TDA1015 je data na slici 4.68. To je pojačavač za uređaje koji se napajaju iz baterija. Otpornost zvučnika i napon baterije za napajanje se određuju sa dijagrama na slici 4.67. Na primer, ako se uređaj napaja iz baterije V_p= 6 V, sa zvučnikom otpornosti $R_{zv}= 8$ se ostvaruje snaga P_{iz}= 0,3 W, a sa $R_{zv}=4$ snaga P_{iz}= 0,55 W.

* Na slici 4.69 je prikazn postupak lemljenja nožica kola na štampanu ploču.

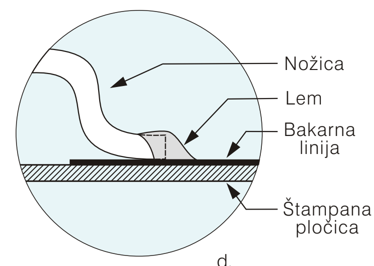
Na krajeve bakarnih linija na koje se leme nožice nanese se tanak sloj kalaja. Prvo se leme dve dijagonalno suprotne nožice, u našem

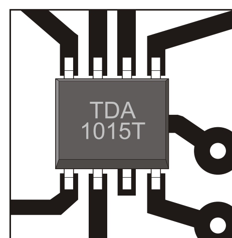


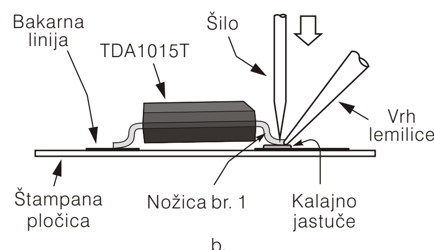
Slika 4.67. Zavisnost snage od napona napajanja

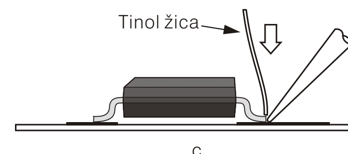


Slika 4.68. Audio pojačavač sa baterijskim napajanjem









Slika 4.69. Lemljenje nožica kola TDA1015T: a - kolo na strani bakra na štampanoj ploči, b - lemljenje nožice 1, c - lemljenje nožice 9, d - izgled svih lemova

slučaju to su nožice 1 i 5. Na bakarne linije, na mestima gde treba da budu zalemljene ove nožice, nanese se malo više (ne preterano) kalaja u obliku malog jastučeta (slika 4.69-b). Kolo se postavi na svoje mesto, tako da sve nožice budu u svom položaju. Vrhom šila nožicu broj 1 pritisnemo na kalajno jastuče, a vrh lemilice naslonimo tako da istovremeno dodiruje i kalajno jastuče i kraj nožice 1. Kalaj se rastopi i nožica, pod pritiskom šila, legne na svoje mesto i bude zalemljena.

Sada se proveri da li su sve nožice na svojim mestima. Ako nisu, vrhom lemilice se rastopi kalaj oko nožice 1 i kolo pažljivo i hitro, da se nožica 1 ne bi previše zagrejala, pomeri u potreban položaj. Lemljenje nožice 9 je prikazano na slici 4.69-c. Vrh lemilice se istovremeno nasloni na vrh nožice i bakarnu liniju ispod nje, tako da se obe zagreju. Posle oko pola sekunde lemilica se malo odmakne od nožice, ali drži i dalje naslonjena na bakarnu liniju, i vrh tinol žice prinese tako da dodiruje i vrh nožice i vrh lemilice i bakarnu liniju. Žica se topi pa je treba pomerati na dole, i kalaj se hvata i za bakar i za vrh nožice. Odmakne se prvo tinol žica pa lemilica, i lemljenje nožice 9 je završeno. Proveri se da li su sve nožice na svojim mestima, pa se i one zaleme, na isti način kao i nožica 9. Lemovi su dobri ako izgledaju približno kao na slici 4.69-d.

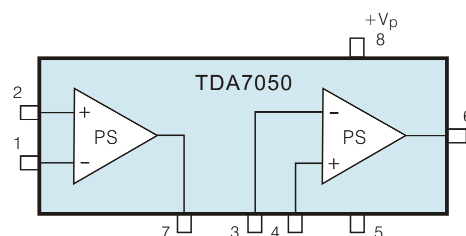
4.3.13. TDA7050 - Mono/stereo pojačavač snage sa baterijskim napajanjem

TDA7050(T) je pojačavač snage predviđen za male mono ili stereo prenosne uređaje sa slušalicama, kao što su radio-prijemnici, MP3 plejeri i sl. Električne šeme oba kola su iste, u čip su ugrađena dva nezavisna pojačavača snage, a razlika je u tome što je TDA7050 smešteno u plastično 8-pinsko DIL kućište, a TDA7050T u plastično 8-pinsko SO (Small Outline) kućište za po-vršinsku (SMD) montažu (sl.4.66). U stereofonskim uređajima svaki pojačavač ima svoju slušalicu i radi nezavisno od onog drugog. U monofonskim uređajima pojačavači rade u BTL (Bridge-Tied Load), odnosno mostnom spoju koji obezbeđuje veću izlaznu snagu.

Maksimalna izlazna snaga, pri k.h.i. $k = 10\%$, data je u tabeli na slici 4.70.

Izlazna snaga (mW)	Napon napajanja (V)	Otpornost skušalica ( )
Mono (BTL) 150 150	 4,5 3	 64 32
Stereo 2x75 2x35	 4,5 3	 32 32

Slika 4.70. Izlazna snaga TDA7050 u zavisnosti od napona napajanja i opterećenja



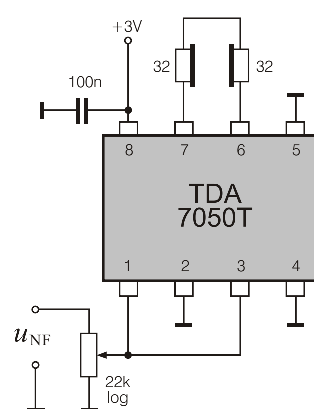
Slika 4.71. Blok šemakola TDA7050

Osnovne karakteristike kola su:

* Minimalan broj spoljnih komponenata (u BTL spoju ih nema)
* Napajanje iz baterije napona od 1,6 V do 6 V.
* Vrlo mala mirna struja (oko 3 mA pri naponu napajanja od 3 V)
* Naponsko pojačanje je 26 dB u stereo konfiguraciji, odnosno 32 dB u mostnom spoju (pri napajanju od 6 V i otpornosti slušalica od 32).

Na slici 4.71 je blok šema kola. Kao što se vidi, u čipu se nalaze dva nezavisna pojačavača snage koja mogu da se upotrebe na dva načina. Prvi je da se pojačavači vežu u mostnom (BTL) spoju (slika 4.72), a drugi da rade potpuno nezavisno, kao dva pojačavača snage u stereofonskom pojačavaču (slika 4.73). U oba slučaja opterećenje pojačavača su slušalice čija je otpornost 32 .

U BTL spoju, pobudni signal (signal koji se pojačava) se sa klizača potenciometra za regulaciju jačine vodi na nožice 1 i 3 tj. na neinvertujući ulaz prvog i invetrujuči ulaz drugog pojačavača. Time je ostvareno da kada izlazni napon prvog pojačavača (na nožici 7) raste, izlazni napon drugog pojačavača (na nožici 6) se smanjuje i obrnuto, kada se izlazni napon prvog pojačavača smanjuje izlazni napon drugog se povećava. Stručno se kaže da su izlazni naponi ovih pojačavača u protivfazi). Na taj način se ostvaruje dva puta veći napon na zvučniku, a to znači da je izlazna snaga četiri puta veća nego kada bi bio korišćen samo jedan pojačavač. To je teorijska vrednost, zbog problema sa hlađenjem kola snaga je ograničena na dva puta manju vrednost. Konkretno, izlazna snaga pojačavača



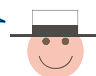
Slika 4.72. Monofonski pojačavač snage sa kolom TDA7050

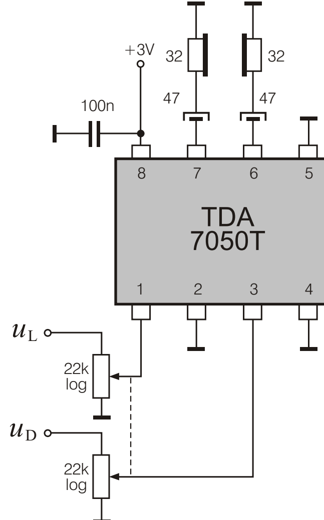
BTL - Bridge Tailored Load - pojačavač u mostnom spoju. (Kao kad bi oba LM380 sa slike 4.24 bila u istom kućištu.)

sa slike 4.71 je 150 mW što je više nego dovoljno kada se kao opterećenje pojačavača koriste slušalice. Kao opterećenje pojačavača koriste se dve slušalice otpornosti 32 , koje su vezane na red, tako da je ukupna otpornost dva puta veća i iznosi ukupno 64 .

Na slici 4.73 je električna šema stereofonskog pojačavača snage sa kolom TDA7050(T). Sad pojačavači rade nezavisno jedan od drugog. Isprekidana linija označava da su klizači potenciometara za regulaciju jačine međusobno mehanički spojeni, tako da se regulacija obavlja pomoću samo jednog dugmeta. Moguće je koristiti i dva nezavisna potenciometra, tada u kompletnom audio-pojačavaču nije potreban i stereo potenciometar (koji je skup, a nije ga lako ni pronaći u uslovima koji vladaju na domaćem tržištu), ali je podešavanje potrebne jačine manje komforno.

TDA7050 radi čak i kad se napon baterije od 3 V smanji na samo 1,6V, što je mnogo dobra stvar.





Slika 4.73. Stereofonski pojačavač snage sa kolom TDA7050

4.3.14. TDA7052 - 1 W BTL mono audio-pojačavač

Ovo kolo je projektovano prvenstveno za upotrebu u uređajima sa baterijskim napajanjem ali ga je, zahvaljujući širokom opsegu napona napajanja (od 3 V do 18 V), moguće koristiti i u uređajima koji se napajaju iz ispravljača. Kolo je u plastičnom 8-pin DIL kućištu.

Izlazna snaga pri koeficijentu harmoničnih izobličenja k= 10% je data u tabeli na slici 4.74.

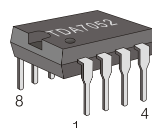
Osnovne karakteristike kola su:

* Minimum spoljnih komponenata
* Izuzetna stabilnost rada
* Ugrađena zaštita od kratkog spoja između izlaznih priključaka
* Nije potreban hladnjak
* Mala mirna struja, I_0=4 mA.
* Nema „klik"-ova pri uključivanju i isključivanju pojačavača
* Naponsko pojačanje je 39 dB pri napajanju od 6 V i sa zvučnikom od 8 .

Električna šema mono pojačavača sa kolom TDA7052 data je na slici 4.75.

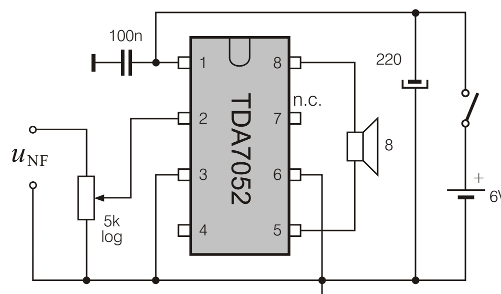
Izlazna snaga (W)	Napon napajanja (V)	Otpornost zvučnika ( )
TDA7052		
2	6	8
1	11	25
TDA7053		
2x1	6	8
2x2	11	25

Slika 4.74. Izlazna snaga TDA7052/53 u zavisnosti od napona napajanja i opterećenja



n.c. - not connected - ne priključuje se





Slika 4.75. Monofonski pojačavač snage sa kolom TDA7052

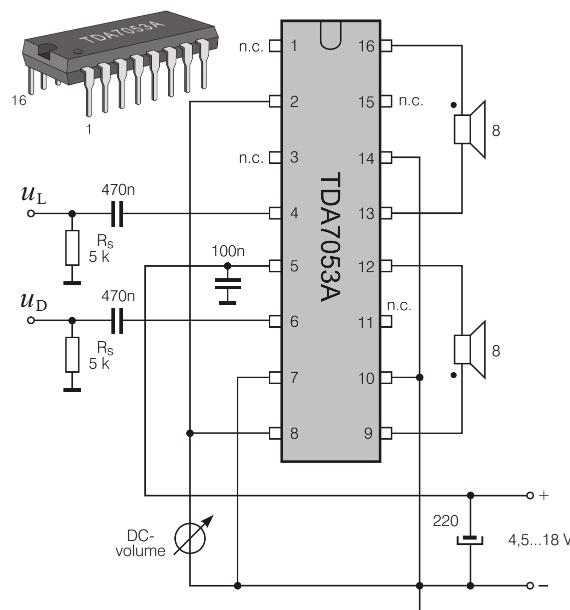
Pri projektovanju štampane pločice treba voditi računa da kondenzatori 220 F i 100 nF budu što bliže nožici 1, a da nožica 3 bude spojena posebnom bakarnom linijom sa stopicom u koju se lemi žica koja je spojena sa negativnim krajem baterije.

4.3.15. TDA7053A - 2x1 W BTL stereo audio pojačavač snage

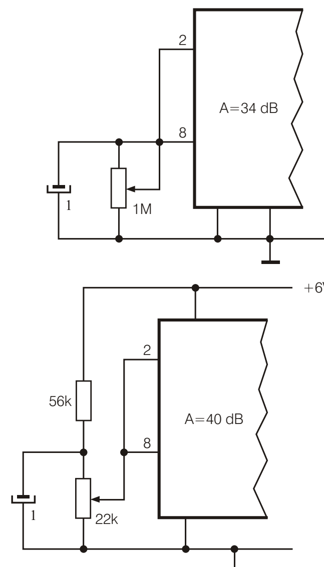
TDA7053 se sastoji od dva TDA7052 u 16 pin DIL kućištu. Ali, ovo kolo se više ne proizvodi, zamenila ga je poboljšana verzija. To je kolo TDA7053A, a poboljšanje je u tome što je u njega ugrađeno kolo *DC-volume*, koje omogućuje da se regulacija jačine (*volume*) vrši pomoću samo jednog potenciometra, menjanjem jednosmernog (*DC*) napona na nožicama 2 i 8. To je vrlo korisna mogućnost u slučaju kada je potenciometar za regulaciju jačine udaljen za više od desetak centimetara od štampane pločice. U slučaju klasičnog povezivanja potenciometra, kao u svim prethodnim primerima, za vezu između potenciometra i pločice treba koristiti oklopljeni kabl. U slučaju kola sa DC kontrolom, veze se ostvaruju običnim žicama.

Električna šema pojačavača snage sa kolom TDA7053A je na slici 4.76-a. Kolo za regulaciju jačine (*DCvolume*) se vezuje između nožica 2 i 8 i mase. To kolo se realizuje po jednoj od šema na slici 4.76-b: levo je jednostavnije, sa desnim je pojačanje kola veće, vi birate šta vam više odgovara.

Karakteristike kola TDA7053A su iste kao kod TDA7052 koje su date u prethodnom projektu.



Slika 4.76-a. Stereofonski pojačavač snage sa kolom TDA7053A



Slika 4.76-b. Kola za regulaciju pojačanja promenom jednosmernog napona na nožicama 1 i 2

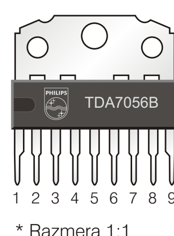
4.3.16. TDA7056B - 5 W mono BTL pojačavač snage

TDA7056B je monofonski BTL pojačavač snage sa DC kontrolom pojačanja. On je predviđen za upotrebu u TV prijemnicima i monitorima ali je pogodan i za upotrebu u prenosnim kasetofonima, radio-prijemnicima i sličnim prenosnim uređajima.

Izlazna snaga pri $U_B = 12$ V, i sa $R_{zv} = 16$, je $P_{izmax} = 3{,}5$ W, a sa $R_{zv} = 8$ je $P_{izmax} = 5{,}5$ W. Napon napajanja je u granicama od 4,5 V do 18 V, što kolo čini pogodnim za upotrebu i u uređajima koji se napajaju iz baterija i u uređajima koji se napajaju iz ispravljača.

Osnovne karakteristike kola su:

* Regulacija pojačanja jednosmernim naponom (DC volume control)
* Minimum spoljnih komponenata
* "Mute" način rada
* Odlična stabilnost rada
* Termička zaštita
* Ugrađena zaštita od kratkog spoja izlaznih priključaka
* Mala potrošnja (I_0=9 mA)



* Razmera 1:1

1 - n.c. (not connected)
2 - + napajanja
3 - ulaz
4 - masa signala
5 - DC regulacija jačine
6 - pozitivan izlaz
7 - masa napajanja
8 - negativan izlaz
9 - n.c.

Slika 4.77. Izgled i raspored nožica kola TDA7056B

* Nema "klik"-ova pri uključivanju i isključivanju pojačavača.

* Naponsko pojačanje, pri U_B= 12 V i $R_{zv} = 16$, je 40 dB (sto puta).

Izgled i raspored nožica kola dati su na slici 4.77. Prema podacima proizvođača, rashladno krilce na kolu obezbeđuje potrebno hlađenje pa dodatni hladnjak nije potreban. Po mišljenju autora ovog teksta, ipak je preporučljivo dodati hladnjak, recimo kao što je onaj na slici 4.61.

Kolo za regulaciju pojačanja jednosmernim naponom, koje je na slici 4.78 označeno sa DC-volume, se pravi prema jednoj od šema na slici 4.76-b, s tim što umesto otpornika otpornosti 56 k treba koristiti otpornik otpornosti 100 k.

Električna šema pojačavača je na slici 4.78. To je ista šema nacrtana na dva načina. Slika 4.78-a je bliža stvarnosti, dok je slika 4.78-b jednostavnija, što naročito dolazi do izražaja pri crtanju komplikovanijih šema sa mnogo više komponenata. Kada su u pitanju pojačavači snage, slika 4.78-b ima još jednu prednost, koja je korisna pri projektovanju štampane ploče. Na njoj su nacrtane dve vrste simbola za masu: tanji, koji se naziva "Masa signala" i deblji, koji se naziva "Masa napajanja". Na slici 4.78-a se vidi da je to jedna ista

masa, odnosno da su te dve mase spojene međusobno. Ali,pri projektovanju štampane ploče te dve mase treba razlikovati. Obe mase treba bakarnim linijma spojiti sa stopicom u koju je zalemljen kraj žice koja ovu stopicu spaja sa negativnim krajem ispravljača ili baterije (akumulatora). Bakarna linija kojom se spaja "Masa ispravljača" treba da je vrlo široka jer kroz nju teče izlazna struja pojačavača. Ova struja može da bude vrlo velika, reda veličine više ampera. Bakarna linija kojom se sa pomenutom stopicom spaja "Masa signala" je sasvim tanka jer kroz nju teče vrlo mala ulazna struja. Uvek treba izbegavati, naročito kod pojačavača snage veće od 5 W, da se koristi zajednička linija za obe mase jer to dovodi do nestabilnog rada, pa i do oscilovanja pojačavača, koji u tom slučaju postaje neupotrebljiv.

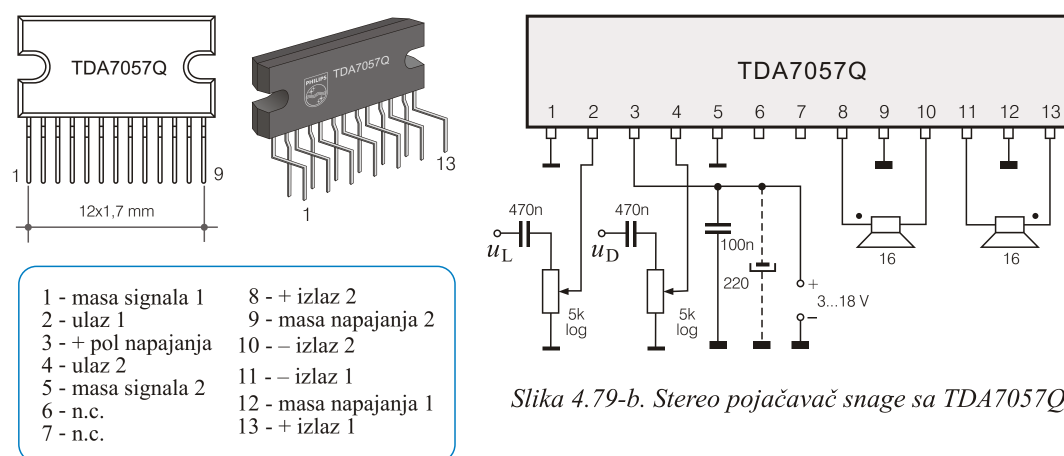
a. b.

Slika 4.78. Pojačavač snage sa TDA7056B

4.3.17. TDA7057Q - 2x3 W stereo BTL pojačavač snage

U kolu TDA7057Q se nalaze dva nezavisna pojačavača snage istih karakteristika kao kolo TDA7056 iz prethodnog projekta. Kolo je smešteno 13-pinsko SIL kućište koje je prikazano na slici 4.79-a. Nožice su savijene unapred, što pojednostavljuje montažu na hladnjak. Pri tome, nožice sa neparnim brojevima su savijene više, tako da su od nožica sa parnim brojevima udaljene za 5,08 mm. Savijanjem je postignuto da je rastojanje između nožica u redovima 3,4 mm.

Električna šema je na slici 4.79-b.



Slika 4.79-b. Stereo pojačavač snage sa TDA7057Q

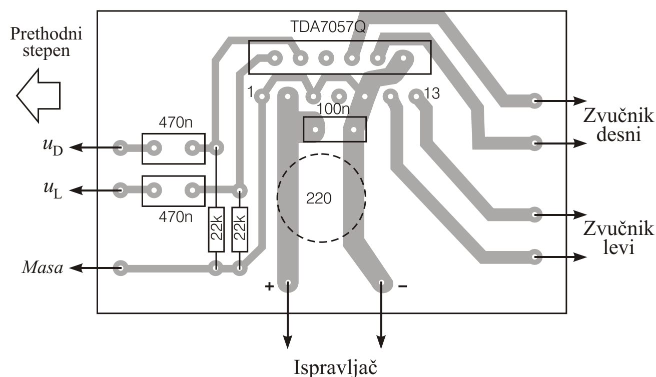
Slika 4.79-a. Raspored nožica i izgled kola TDA7057Q

Tačke pored zvučnika ukazuju da pri njihovom priključivanju mora da se vodi računa o fazi, o čemu je već bilo govora, a biće još, u glavi "Dodaci".

Kondenzator od 200 F se dodaje ako se pojačavač napaja iz baterija ili ako takav sličan kondenzator ne postoji na izlazu ispravljača.

Na slici 4.79-c je prikazana štampana pločica, pogled na stranu komponenata, kao na fotografiji u katalogu proizvođača. To je pločica napravljena u Filipsu, ali autor ovih redova ne može da izdrži a da ne kaže da mu se jedan detalj ne dopada. To je bakarna linija između nožica 5 i 9. Po njegovom skromnom mišljenju ovu bi vezu trebalo prekinuti, a napraviti novu koja bi spajala nožicu 5 i stopicu obeleženu sa –. Ova linija može da se provuče između nožica kondenzatora od 100 nF.

Dimenzije štampane pločice su 60mm x 40mm ali, kao što se vidi, ona može da bude znatno manja.



Slika 4.79-c. Raspored komponenata na štampanoj pločici pojačavača snage sa slike 4.78

* Otpornici od 22 k imitiraju potenciometre sa klizačem u krajnjem gornjem položaju. Regulacija jačine se obavlja u nekom prethodnom stepenu.

* Pri precrtavanju crteža štampapane ploče imajte u vidu da je to pogled na starnu komponenata. Pogled na stranu bakra se dobija kada se slika kopira na poluprovidnu hartiju pa ta hartija okrene i pogleda kroz nju.

4.3.18. TDA1010A - 6 W/10 W pojačavač snage

TDA1010A je audio pojačavač sa izlaznim stepenom uklasi B, smešten u 9-pinsko plastično SIL kućište. Ovo kolo je prvenstveno namenjeno za upotrebu u automobilskim audio uređajima sa zvučnicima otpornosti 2 i 4 , ali ga širok opseg napona napajanja i fleksibilnost čine dobrim rešenjem i za druge uređaje snage do 10 W.

Napon napajanja kola TDA1010A je u granicama od 6 V do 24 V. Kolo istih karakteristika ali sa napajanjem od 6 V do 18 V ima oznaku TDA1020. Oba kola su smeštena u 9-pinsko SIL kućište u koja se, inače, smeštaju integrisani pojačavači srednjih snaga.

Izlazna snaga, pri koeficijentu harmoničnih izobličenja k=10 %, je data u tabeli na slici 4.80.

Glavne osobine kola TDA1010A i TDA1020 su:

* Razdvojeni pobudni predpojačavač i pojačavač snage, o čemu je već bilo reči u prethodnim projektima.

* Osetljivost pri P_{iz}=6 W i R_{zv}=4 je U_{ul}=10 mV.

* Ukupna mirna struja pri napajanju od 14,4 V je I_0=31 mA.

* Ukupna harmonična izobličenja pri P_{iz}=6 W i R_{zv}=4 su k=0,2 %.

* Ulazna impedansa je 30 k (predpojačavač) i 20 k (pojačavač snage).

* Efikasnost (k.k.d.) je =75 %.

* Propusni opseg (–3 dB) je od 80 Hz do 15 kHz.

* Pojačanjeje 24 dB (predpojačavač) i 30 dB (pojačavač snage).

* Potiskivanje brujanja (ripple rejection) je 42 dB. (Brujanje je ton učestanosti 50 Hz ili 100 Hz, koji potiče iz ispravljača.)

* Termička zaštita.

* Zaštita od kratkog spoja na izlazu. Kod pojačavača koji nemaju ovu zaštitu, spoj između žica kojima se zvučnik priključuje na pojačavač, kratak spoj u zvučniku i slično je katastrofalan za pojačavač: izlazni stepen pregoreva. U takvim slučajevima, ugrađeno kolo za zaštitu isključuje pojačavač i drži ga isključenim sve dok kratak spoj ne bude otklonjen.

Kolo TDA1020 ima još neke dodatne mogućnosti:

* Ugrađena kola koja pojačavač štite od oštećenja ako se napon napajanja poveća čak do 45 V. Odakle može da stigne ovoliki napon? Žica kojom je pojačavač spojen sa + polom automobilskog akumulatora, kao i svaki drugi električni provodnik, ponaša se kao prijemna radio antena u kojoj se pod dejstvom promenljivih električnih polja indukuju naponi. Električna instalacija u automobilu (naročito bobina) je snažan izvor promenljivog polja i, kad se steknu nepovoljne okolnosti, napon u pomenutom provodniku može da bude znatno veći od napona akumulatora. Ovaj prenapon obično traje veoma kratko, ali je i to dovoljno dugo da trajno ošteti kolo koje nije zaštićeno.

Izlazna snaga (W)	Napon napajanja (V)	Otpornost zvučnika ( )
3,4/3,5*	14,4	8
6/7	14,4	4
6,4/12	14,4	2
** 9	14,4	2
10	18	2

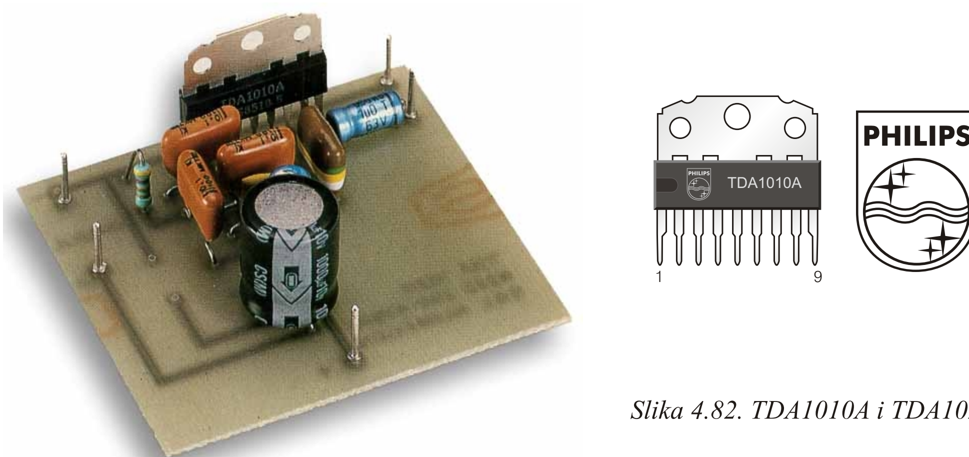
* TDA1010A/TDA1020

** Dva zadnja reda važe samo za TDA1010A sa otpornikom od 220 vezanim između nožica 3 i 4

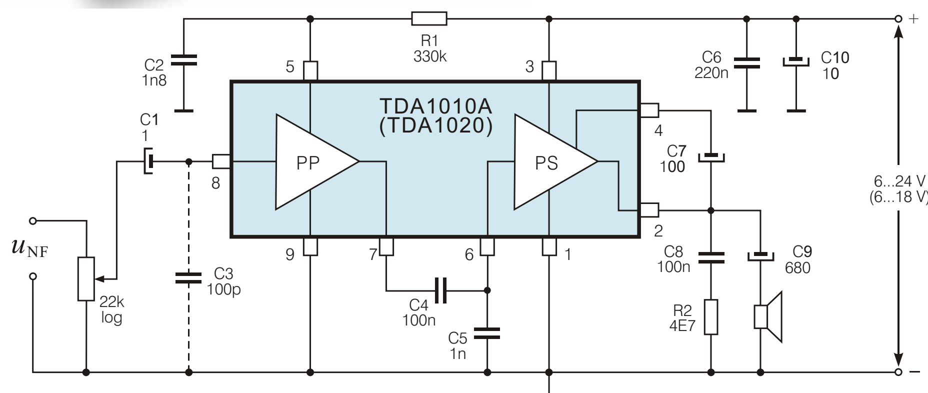
Slika 4.80. Izlazna snaga TDA1010A i TDA1020 u zavisnosti od napona napajanja i opterećenja

* Potiskivanje smetnji koje stvara automobilski motor.

Električna šema pojačavača i fotografija štampane pločice su date na slici 4.81. Potenciometar služi za regulaciju jačine reprodukcije, a C1 je sprežni kondenzator preko koga se signal koji se pojačava (u_{NF}) dovodi na ulaz, na nožicu 8, pojačavača. Kondenzator C3 i otpornik R1 obrazuju NF filtar koji sprečava da se deo izlaznog signala vrati negde blizu



Slika 4.82. TDA1010A i TDA1020



Slika 4.81. Audio pojačavač sa kolom TDA1010A (TDA1020)

ulaza pojačavača. Čemu služi C3? O njemu postoji jedna lepa priča.

Pre mnogo godina jedan učenik četvrte godine u elektrotehničkoj školi "Nikola Tesla" u Beogradu je, kao praktični deo svog diplomskog rada, napravio kompletan audio pojačavač izlazne snage 2x25 W. Štampana ploča, raspored komponenata na njoj, raspored potenciometara i nekoliko indikatora i prekidača na prednjoj ploči lepe, tanke kutije, sve je bilo izuzetno lepo. Ali, na veliku žalost učenikovu, iz zvučnika se čuo slabašan ton koji je odgovarao snazi bar dvadest puta manjoj od očekivanih 50 W. Stavili smo pojačavač na sto u laboratoriji za radiotehniku i na njegov ulaz priključili ton generator čiji smo izlazni napon podesili na 5 mV, što je odgovaralo osetljivosti pojačavača, a učestanost na 1 kHz. Okrenuli smo potenciometar za regulaciju jačine do kraja. Iz zvučnika se čuo ton učestanosti 1 kHz ali je svima, po jačini zvuka, bilo potpuno jasno da je izlazna snaga mnogo, mnogo manja od očekivane. Eto, snuždeno je rekao učenik, tako je bilo i kod kuće. Priključili smo elektronski voltmetar na zvučnik. Prema onom što je moglo da se čuje, voltmetar je trebalo da pokaže napon veličine (efektivne, naravno) oko 1 V. Ali nije bilo tako, napon je bio skoro deset puta veći. Kada se ovaj napon digne na kvadrat i to podeli sa otpornošću zvučnika dobijala se snaga 25 W. Znači, rekao je neko od prisutnih, pojačavač je u redu, samo mi to ne čujemo. Bolje bi bilo da je obrnuto, da nije u redu ali da se lepo čuje, dodao je neko drugi. Sada smo na zvučnik priključili i osciloskop. Na njegovom ekranu se pojavio napon čiju je veličinu pokazivao voltmetar. Ali njegova učestanost nije bila 1 kHz već čitavih 42 kHz. Sve nam je postalo jasno, pojačavač je oscilovao. Jednostavno, deo izlaznog napona koji se sa izlaza pojačavača nekako vratio na ulaz, imao je dovoljnu veličinu i odgovarajući fazni stav tako da se pojačavač pretvorio u oscilator koji radi na učestanosti 42 kHz. Nije nikakvo čudo što ga nismo čuli. Njega zvučnik ne može da reprodukuje, a i da može ne bi ga čuli jer je to ultra zvuk koji čovek ne može da čuje. Kako se rešiti ove bede? Najjednostavnije je da se između ulaza i mase veže kondenzator koji će, kao se to popularno kaže, signal od 42 kHz da odvede na masu. Zalemili smo između ulaza i mase blok kondenzator kapacitivnosti 100 pF i pojačavač je proradio kako treba. Eh, da ste mogli da vidite kako je onaj (m)učenik zadovoljno razvukao usne.

Dakle, kondenzator C3 služi da spreči oscilovanje na nekoj ultrzvučnoj učestanosti. Pošto ovaj kondenzator smanjuje gornju graničnu učestanost pojačavača njegova kapacitivnost treba da je što manja, potrebna vrednost se nalazi eksperimentom.

C4 je sprežni kondenzator preko koga se NFsignal sa izlaza predpojačavača vodi na ulaz pojačavača snage.

C5 i izlazna otpornost predpojačavača obrazuju VF filtar kojim se sprečava da VF smetnje prodru na ulaz pojačavača snage. Ako je potrebno, slbljenje ovog filtra može da se poveća dodavanjem otpornika na red sa C4. Otpornost je reda kilooma a optimalna vrednost se nalazi eksperimentom.

C7 je tzv. *bootstrap* kondenzator kojim se povećavaju izlazni napon i izlazna snaga pojačavača snage.

C8 i R2 obrazuju Zobelovo kolo kojim se sprečava oscilovanje pojčavača snage na visokim učestanostima.

C9 je kondenzator koji se nalazi na izlazu svih pojačavača snage na čijem se izlazu koriste komplementarni tranzistori. Za vreme jedne poluperiode NF signala on se ponaša kao sprežni kondenzator, a za vreme sledeće poluperiode kao izvor jednosmernog napona. Njegov radni napon mora da bude veći od polovine napona ispravljača (baterije) iz koje se pojačavač napaja energijom.

C6 je već pominjani liskunski kondenzator koji se koristi kod svih integrisanih kola a lemi se što bliže nožici na koju se dovodi pozitivan jednosmerni napon napajanja.

C10 u uređajima koji se napajjaju iz baterija sprečava NF oscilovanje do koga dolazi kad se, usled delimične ispražnjenosti, poveća unutrašnja otpornost baterije. U uređajima koji se napajaju iz električne mreže on se koristi kada je ispravljač udaljen od pojačavača pa su žice kojima su ostvarene veze duže od petnaestak centimetara. Ove žice se ponašaju kao prijemne antene u kojima se indukuju naponi. Njih C10 "vodi na masu" i na taj način sprečava da dođu do pojačavača.

* Više podataka o audio-pojačavaču sa TDA1010A može da se nađe u glavi u kojoj su dati primeri praktične realizacije kompletnih audio-pojačavača.

4.3.19. TDA1516BQ - 22 W mono ili 2x11 W stereo pojačavač snage

U čipu TDA1516BQ se nalaze dva pojačavača snage koji mogu da se vežu u BTL spoju i tada rade zajedno kao monofonski pojačavač snage 24 W. Druga mogućnost je da se koriste kao posebni pojačavači snage po 12 W u stereofonskim pojačavačima.

Njihovo pojačanje je fiksirano (ne može da se menja promenom veličina otpornosti i kapacitivnosti spoljnih otpornika i kondenzatora), čime je ostvarena odlična izbalansiranost (ujednačenost) pojačanja oba pojačavača, što je od izuzetnog značaja za dobar rad stereofonskih uređaja. Razlika u pojačanju je manja od 1 dB, što je, praktično gledano, zanemarljivo malo.

Kolo je smešteno u kućište SI L-13 sa nožicama savijenim tako da odgovaraju DIL formatu, kao što se vidi na fotografijama pojačavača. Tako savijene nožice pojednostavljuju crtež štampane pločice i olakšavaju montažu kola na hladnjak. Dimenzije kola, ne i broj nožica, su isti kao na slici 4.55, a raspored nožica i izgled su dati na slici 4.83.

Podaci o izlaznoj snazi su dati u tabeli na slici 4.84.

Osnovne karakteristike pojačavača snage TDA1516BQ su:

* Minimalan broj spoljnih komponenata u mostnom (BTL) spoju

* Mali „offset" napon, što je značajno za mostni spoj. (Off-set napon je jednosmerni napon između nožice 5 i nožice 9, o kome je već bilo reči). Sa napajanjem od 14,4 V i zvučnikom otpornosti 4 , pojačanje napona je 20 dB u stereofonskom spoju (sl. 4.85), odnosno 26 dB u mostnom mono spoju (sl. 4.86).

* Odlično potiskivanje brujanja koje potiče iz ispravljača.

* Zaštita od slučajnog kratkog spoja između izlaznih priključaka i mase, ili između njih i pozitivnog kraja ispravljača.

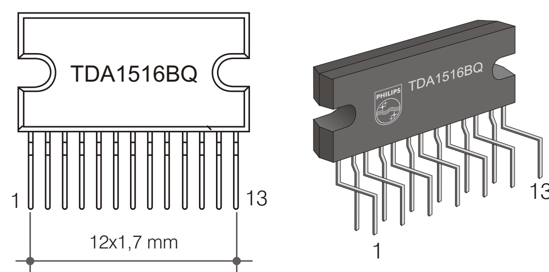
* Termička zaštita.

* Mogućnost korišćenja „Stand-by" prekidača S, o čemu je ranije bilo više reči. Struja kroz ovaj prekidač (kad je zatvoren, naravno) je manja od 0,1 mA, a jednosmerna struja koju pojačavač vuče iz ispravljača u stand-by radu (kad je prekidač otvoren) je 40 mA.

* Mala *stand-by* struja (<100 A)

* Nema "klikova" pri uključivanju i isključivanju pojačavača.

Električna šema stereofonskog pojačavača je na slici 4.85, a monofonskog na slici 4.86. Treba zapaziti da i ovo kolo ima dve mase, masu signala i masu ispravljača, o čemu je



1 - neinvertujući ulaz 1
2 - inverutjući ulaz 1
3 - masa signala
4 - referentni napon
5 - izlaz 1
6 - "bootstrap" 1
7 - masa napajanja
8 - "bootstrap" 2
9 - izlaz 2
10 - + napajanja
11 - M/SS prekidač
12 - potiskivanje brujanja
13 - neinvertujući ulaz 2

Slika 4.83. Raspored nožica i izgled kola TDA1516BQ

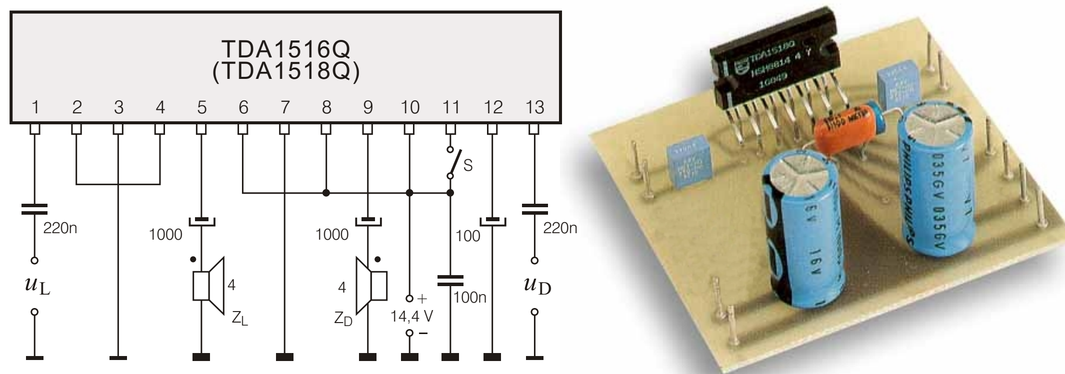
Izlazna snaga (W)	Napon napajanja (V)	Otpornost zvučnika ( )
Mono (BTL) 22	14,4	4
Stereo 2x6 2x11	14,4 14,4	4 2

Slika 4.84. Izlazna snaga TDA1516BQ u zavisnosti od napona napajanja i opterećenja

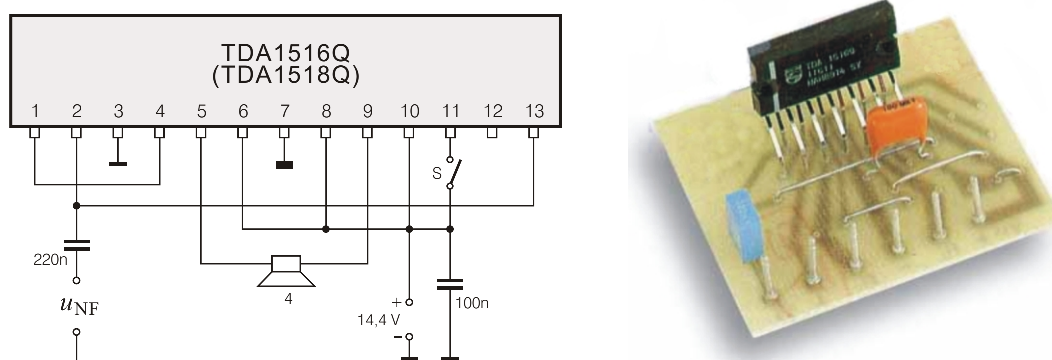
bilo reči u prethodnom tekstu, a o čemu treba voditi računa pri projektovanju štampane pločice.

*Elektrolitski kondenzator na izlazu ispravljača kojim se pojačavači napajaju treba da ima kapacitivnost od 2,2 mF (2200 F).

* Kolo TDA1516Q je kompatibilano sa kolomTDA1518Q. Razlikuju se samo po pojačanju koje je kod ovog drugog 40 dB (u stereofonskom spoju) i 46 dB (u mostnom) .



Slika 4.85. Stereofonski pojačavač snage sa kolom TDA1516Q i 1518Q



Slika 4.86. Monofonski pojačavač snage sa kolom TDA1516Q i 1518Q

4.3.20. TDA1551Q - 2x22 W ili 4x11 W pojačavač snage sa I2C-B kontrolom

U integrisanom kolu TDA1551Q se nalaze četiri kompletna pojačavača snage koji mogu da se upotrebe na dva načina, kao što je prikazano na slikama 4.89 i 4.90. Na slici 4.89 po dva pojačavača su vezana u mostnom spoju, tako da je ostvaren dvokanalni sterofonski pojačavač snage 2x22 W. Na slici 4.90 pojačavači rade nezavisno jedan od drugoga, svaki se pobuđuje posebnim signalom i svaki ima svoj zvučnik, čime je ostvaren kvadrofonski pojačavač snage.

Kao što smo već ranije videli, stereofonija je prostorna reprodukcija zvuka koja se ostvaruje pomoću dvokanalnih uređaja. Pri reprodukciji neke muzike, preko jednog kanala se prenosi muzika jedne polovine orkestra, a preko drugog druga polovina, dok se muzika koju izvode muzičari u sredini orkestra podjednako prenosi preko oba kanala. Na mestu reprodukcije, jedna polovina orkestra se čuje iz jednog a druga polovina iz drugog zvučnika, dok se sredina orkestra čuje iz oba zvučnika, što, sve zajedno, stvara kod slušaoca utisak o prostornom rasporedu izvora zvukova, odnosno stvara utisak prostornosti koji obogaćuje doživljaj koji muzika stvara kod slušalaca. U vreme pre pojave video rekordera i personalnih računara, kada su stereofonski uređaji pobuđivali veliko interesovanje široke publike, pojavila se ideja da prostorna reprodukcija muzike može da bude znatno kvalitetnija ako bi se vršila, ne pomoću dva već pomoću četiri kanala. To je bila kvadrofonija. Pomoću dva mikrofona snimani su zvuci koji stižu direktno od leve odnosno desne polovine orkestra. Naponi koji se dobijaju na ovim mikrofonima su na slici 4.90 obeleženi sa u_{LP} (levi prednji) i u_{DP} (desni prednji). Do slušaoca u koncertnoj dvorani, pored direktnih zvukova, stižu i zvuci koji se odbijaju od tavanice i zidova dvorane, po kojima se, u suštini, i razlikuju različite dvorane. (Po tim zvucima dvorane se rangiraju na prosečne, dobre, odlične itd.) Ovi reftektovani zvuči se snimaju pomoću još dva mikrofona. Naponi na njihovim izlazima su na slici 4.90 obeleženi sa u_{LZ} (levi zadnji) i u_{DZ} (desni zadnji). "Kada se ovi signali pojačaju i reprodukuju preko četiri zvučnika raspoređenih po uglovima sobe" pisalo je u reklamama proizvođača kvadrofonske opreme, "zidovi sobe, kao čudom, nestaju i slušalac prisustvuje koncertu u pravoj koncertnoj dvorani". Postojali su kvadrofonski gramofoni i magnetofoni, a bilo je i kvadrofonskih radio-predajnika i prijemnika ali kvadrofonija ipak nije opstala,

verovatno zbog toga što ono što je slušalac dobijao nije bilo srazmerno novcu koji je trebalo uložiti u uređaje. Kako bilo da bilo, u kolu TDA1515Q čitaocima stoje na raspolaganju četiri nezavisna pojačavača snage koja mogu da koriste po svom nahođenju.

U kolu TDA1551Q je i elektronsko kolo koga nije bilo u pojačavačima snage opisanim u prethodnim projektima. To je tzv. I^2C-bas kontrola, preko koga integrisano kolo može da se poveže sa mikroprocesorom. Preko posebne tastature, korisnik u mikroprocesor unosi podatke koje ovaj preko nožica 16 i 17 šalje u pojačavač i kontroliše njegov rad. To pruža mogućnost da se pojačavač postavi u "sleep mode" (da radi jedno određeno vreme, dok, recimo, slušalac ne zaspi, i da se, posle toga, sam isključi), "mute mode" (pojačavač je isključen, ali ne potpuno već se nalazi u, ranije opisanom, "stand-by" režimu, spreman da trenutno proradi kad to korisnik poželi ili kad se steknu neki u napred definisani uslovi) i "operating mode" (pojačavač normalno radi).

Kroz I^2C-bas podaci (signali) mogu da idu i u suprotnom smeru, od kola ka mikroprocesoru, što omogućuje da se na posebnom displeju (pokazivaču) pojavi upozorenje da je jedan ili više kanala pojačavača snage preopterećeno (tako da su izobličenja veća od dozvoljenih), ili da se na nekom od izlaza pojavio kratak spoj, ili da je temperatura kola porasla na 150°C.

TDA1551Q je smešteno 17-pinsko SIL kućište sa nožicama savijenim tako da odgovaraju DIL formatu, što se vidi na slici 4.87.

Podaci o izlaznoj snazi su u tabeli na slici 4.88.

Osnovne karakteristike kola su:

* Veoma malo spoljnih komponenata pojačavača.

* Fiksirana (nepromenljiva) pojačanja koja obezbeđuju vrlo malu razliku u pojačanjima sva četiri pojačavača (razlika je manja od 1 dB).

* I^2C-bas kontrola koja daje indikaciju o izobličenjima, kratkom spoju izlaznih priključaka svakog kanala, pregrevanju kola, kao i mogućnost da se pojačavač pošalje u "sleep", "mute" ili "operate" režim rada.

* Mali "offset" napon (oko 100 mV), koji je vrlo značajan za rad pojačvača u mostnom spoju. (To je jednosmerni napon između izlaznog priključka i mase.)

* Pojačanje (sa R_{zv}=4) je 26 dB u mostnom spoju odnosno 20 dB u Quad pojačavaču.

* Odlično potiskivanje brujanja koje "stiže" iz ispravljača.

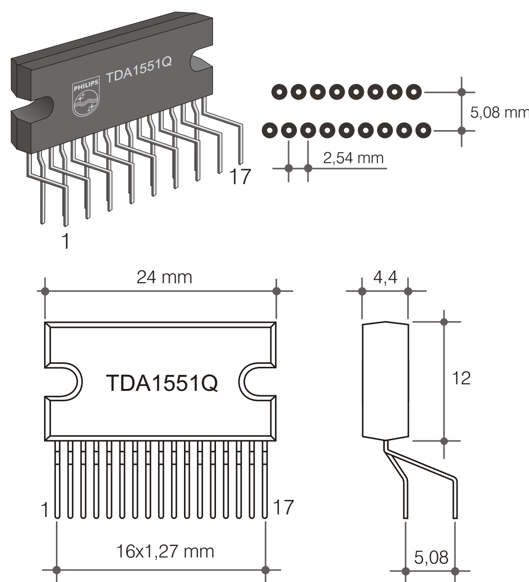
* Zaštita od kratkog spoja između izlaznih priključaka i mase ili pozitivnog kraja ispravljača.

* Termička zaštita.

* Zaštita od pogrešnog priklju-čenja ispravljača.

* Mogućnost "Stand-by" rada.

* Nema "klikova" pri uključi-vanju i isključivanju.



Nožice:

1 - neinvertujući ulaz 1	10 - izlaz 3
2 - invertujući ulaz 1	11 - masa napajanja 2
3 - masa signala	12 - izlaz 4
4 - potiskivanje brujanja	13 - plus napajanja 2
5 - plus napajanja 1	14 - inverujući ulaz 2
6 - izlaz 1	15 - neinvertujući ulaz 2
7 - masa napajanja 1	16 - SCL - serial clock line
8 - izlaz 2	17 - SDA serial data line
9 - *standby*	

Slika 4.87. Izgled i raspored nožica kola TDA1551Q

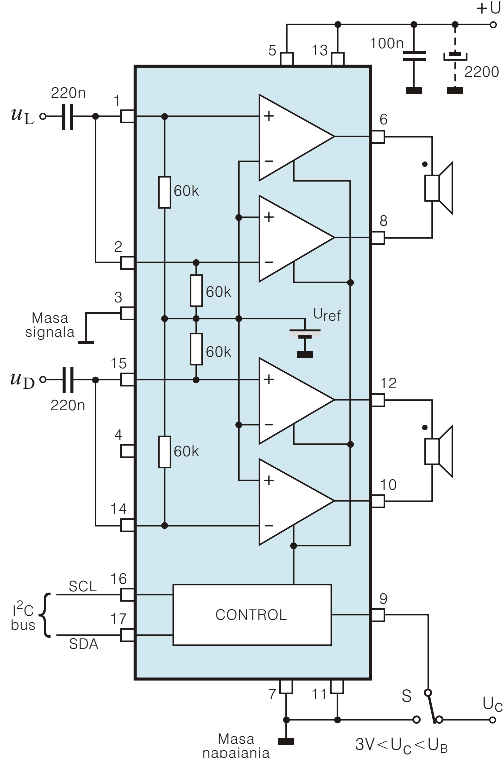
Izlazna snaga (W)	Napon napajanja (V)	Otpornost zvučnika ( )
Stereo (BTL) 2x22	14,4	4
Quad 4x6 4x11	14,4 14,4	4 2

Slika 4.88. Izlazna snaga TDA1551Q u zavisnosti od napona napajanja i opterećenja

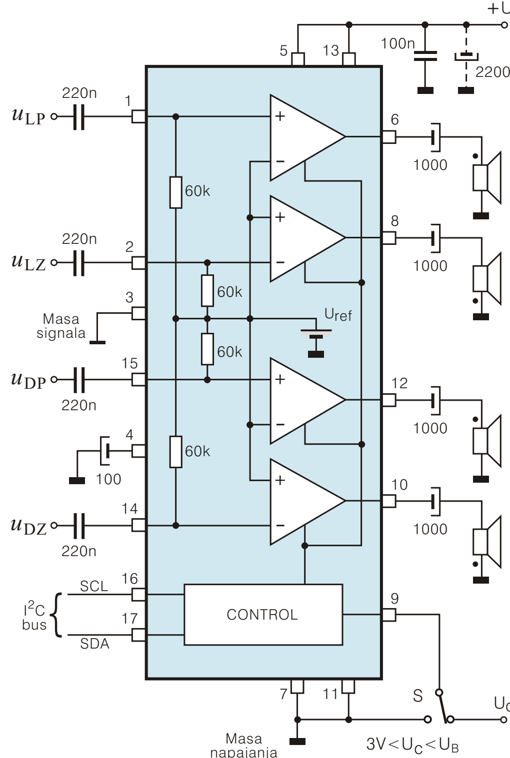


Ako se ikada upistite u servisiranje nekog starinskog pojačavača, radio-prijemnika ili nekog sličnog uređaja sa elektronskim cevima, budite veoma obazrivi. Jednosmerni naponi u pojedinim tačkama mogu da budu i nekoliko STOTINA volti.





Slika 4.89. Stereofonski (dvokanalni) pojačavač snage sa TDA1551Q



Slika 4.90. Kvadrofonski (četvorokanalni) pojačavač snage sa TDA1551Q

4.3.21. TDA1552Q i TDA1553AQ - 2x22 W BTL pojačavači snage

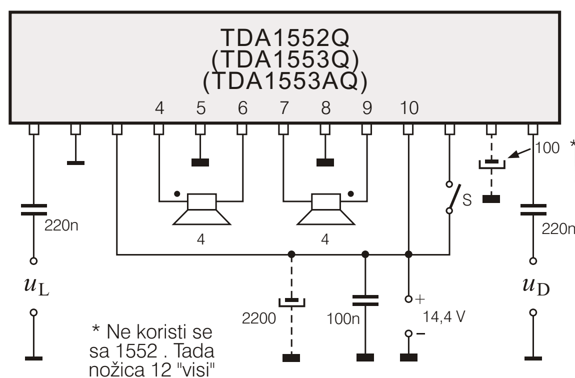
Ova kola su skoro potpuno ista, jedina razlika je u tome što je u kolo 1553Q ugrađena i elektronska zaštita zvučnika. Smeštena su u 13-pinsko plastično SIL kućište, sa nožicama savijenim tako da odgovaraju DIL formatu, kao na slici 4.83. Izlazna snaga (sa R_{ZV}=4 i napajanjem od 14,4 V) je 2x22 W. Električna šema i fotografija štampane pločice stereofonskog pojačavača su na slici 4.56

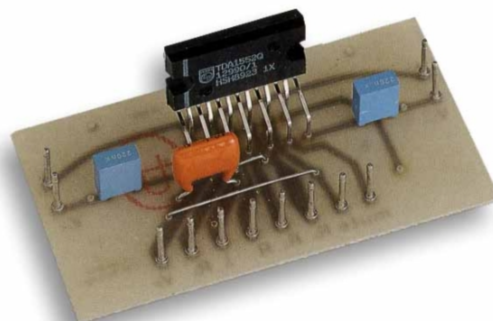
Osnovne karakteristike kola su:

* Vrlo malo spoljnih komponenata
* Mali ofset napon između izlaznih prključaka (0,1 V).
* Pojačanje napona je 26 dB.
* Odlično potiskivanje brujanja koje potiče iz ispravljača
* Zaštita od kratkog spoja između izlaznih priključaka i mase ili pozitivnog pola ispravljača.
* Termička zaštita.
* Zaštita od pogrešnog priljučenja (zamena krajeva) ispravljača.
* Mute/standby/normal mogućnosti

*U kolima TDA1553Q i TDA1553AQ je ugrađena elektronika koja ograničva izlazni napon na 1V (ili manje) ako je bilo koji od izlaza kratko spojen.

* U kolu TDA1553AO izbor vrste ra-da (mute/standby/normal) može da se vrši naponima koji su CMOS kompatibilni.





Slika 4.91. Stereofonski pojačavač snage sa TDA1552Q/TDA1553Q/TDA1553AQ

4.3.22. TDA1555Q/TDA1554Q - 2x22 W ili 4x11 W pojačavači snage

Ova dva kola su praktično potpuno ista, razlikuju se samo po tome što je u kolo TDA1555Q ugrađen i detektor izobličenja čiji je izlaz na nožici 15. U oba kola su po četiri

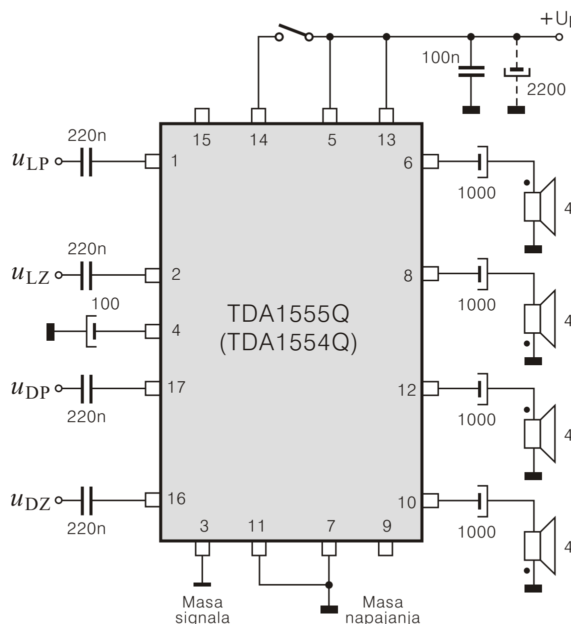
nezavisna pojačavača snage koja mogu da se koriste u nekom kvadrofonskom uređaju snage 4x11W, (sl. 4.93), ili u stereofonskom uređaju snage 2x22W (sl. 4.94). Kola su smeštena u 17-pinsko SIL kućište sa nožicama savijenim da odgovaraju DIL formatu, kao na slici 4.87.

Podaci o snazi su u tabeli na slici 4.92.

Osnovne karakteristike pojačavača snage TDA1555Q i TDA1554Q su:

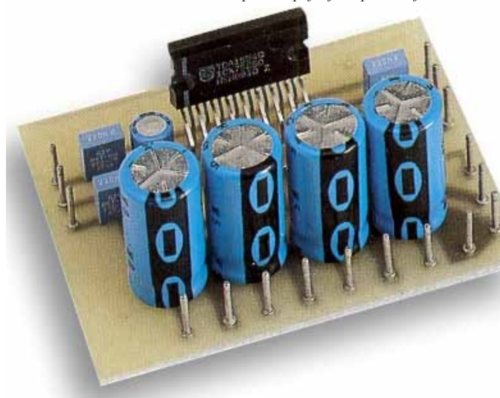
* Vrlo malo spoljnih komponenata
* Mali ofset napon, 0,1 V
* Fiksno pojačanje napona koje pri napajanju od 14,4 V i opterećenju od 4 iznosi 26 dB (stereo), odnosno 20 dB (quad)
* Odlično potiskivanje brujanja iz ispravljača
* Termička zaštita
* Zaštita od kratkog spoja između izlaznih priključaka i mase ili pozitivnog kraja ispravljača
* Zaštita od pogrešnog priključenja ispravljača
*Mogućnost *standby* rada. Za normalan rad, jednosmerni napon na nožici 14 treba da je veći od 8,5 V.
* Identični ulazi (invertujući i neinvertujući).
* Ugrađen detektor izobličenja (samo kod 1555Q) čiji je izlaz na nožici 15. Kada, usled prevelikog ulaznog signala, dođe do pojave odsecanja vrhova izlaznog signala tako da klir faktor postane veći od k= 3,5 %, na nožici 15 (između nje i mase) se pojavljuje jednosmerni napon kojim se u procesoru zvuka ili u kolu za DC regulaciju pojačanja smanjuje veličina signala na ulazu pojačavača snage.

Najjednostavnije rešenje je odvesti napon sa nožice 15 na ulaz nekog pojačavača jednosmernog napona na čijem je izlazu sijalica (ili LED dioda) koja će da se upali kada izobličenja porastu iznad nivoa pri kome se detektor uključuje, što slušaoca opominje da, pomoću potenciometra, smanji jačinu reprodukcije.

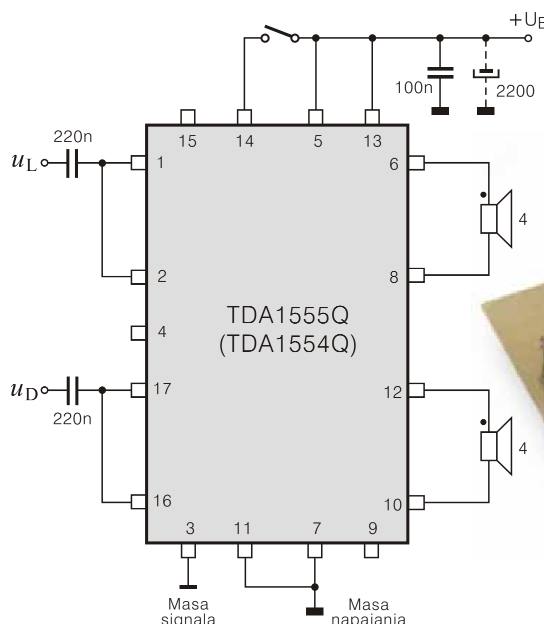


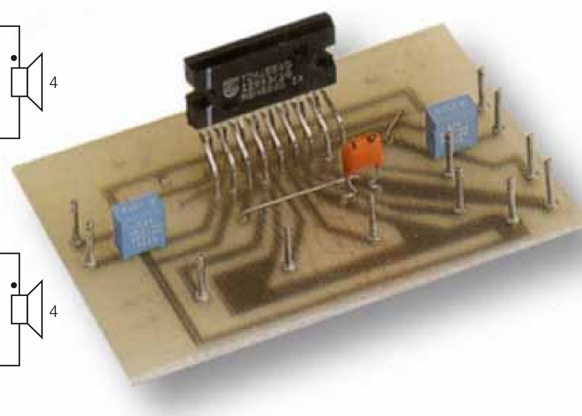
Izlazna snaga (W)	Napon napajanja (V)	Otpornost zvučnika ( )
Stereo (BTL) 2x22	14,4	4
Quad 4x6 4x11	14,4 14,4	4 2

Slika 4.92. Izlazna snaga TDA15555Q u zavisnosti od napona napajanja i opterećenja



Slika 4.93. Kvadrofonski (četvorokanalni) pojačavač snage sa TDA1555Q





Slika 4.94. Stereofonski (dvokanalni) pojačavač snage sa TDA1555Q

4.3.23. TDA1013B - 4 W BTL pojačavač snage sa DC regulacijom jačine

TDA1013B je audio pojačavač sa DC kolom za regulaciju jačine smešten u 9-pinsko SIL plastično kućište. Njegove osnovne karakteristike su: malo spoljnih komponenata, širok opseg napona napajanja, širok opseg kontrole pojačanja, fiksno pojačanje, termička zaštita, veliki odnos signal/šum i pin-kompatibilnost sa kolom TDA1013A.

Električna šema pojačavača je prikazana na slici 4.95. Kao što se vidi, pojačavač se sastoji iz dva dela, predpojačavača (KJ) i pojačavača snage (PS). Predpojačavač je obeležen sa KJ (kontrolna jedinica) jer se u njemu obavlja i kontrola (regulacija) jačine reprodukcije. To se ostvaruje promenom jednosmernog napona na nožici 7. Najjednostavnije praktično rešenje promene pojačanja može da se ostvari pomoću potenciometra i otpornika, kao što je prikazano na slici 4.95.

Otpornosti otpornika se računaju po obrascima:

$$R_1=0{,}2\cdot R\cdot(V_p-7\text{V})\ \text{i}$$

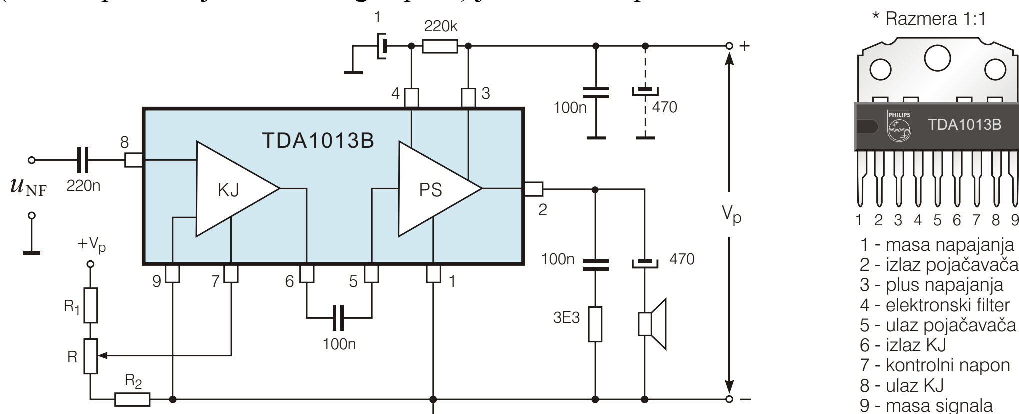
$$R_2=0{,}4\cdot R,$$

u kojima je V_p - jednosmerni napon koji se dovodi između gornjeg kraja R_1 i mase, to je jednosmerni napon kojim se napaja pojačavač, a R - otpornost potenciometra. Na primer, ako je V_p=14 V i usvojimo potenciometar otpornosti R=50 k , otpornosti su:

$$R_1=0{,}2\cdot 50\cdot(14-7)=70\ \text{k}\quad \text{i}$$

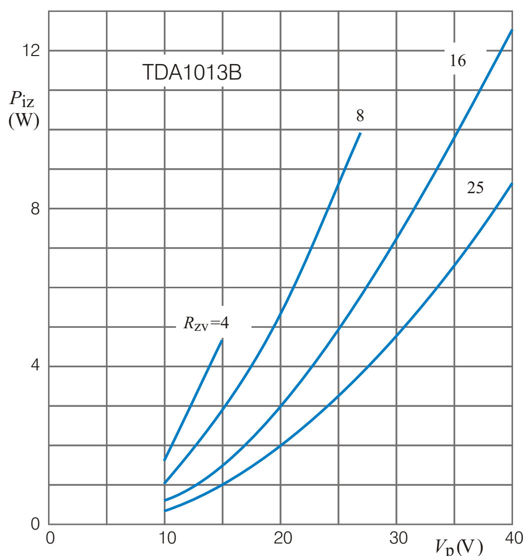
$$R_2=0{,}4\cdot 50=20\ \text{k}.$$

Lako se zapaža da kontrolna jedinica, potenciometar i otpornici R1 i R2, svi zajedno deluju kao običan logaritamski potenciometar, što je tačno. Prednost DC kontrole (kontole pomoću jednosmernog napona) je u tome što potenciometar na slici 4.95 može da



Slika 4.95. Audio pojačavač sa kolom TDA1013B

bude daleko od integrisanog kola (daleko i od kompletnog pojačavača, ako je potrebno), a veza sa kolom se ostvaruje običnim provodnicima, što nije slučaj kada se potenciometar koristi na klasičan način. Pored toga, DC kontrola omogućuje i upotrebu daljinskih regulatora jačine, automatsku regulaciju pojačanja itd.



Slika 4.96. Zavisnost izlazne snage od napona napajanja i opterećenja kola TDA1013B

Jednosmerni napon napajanja kola TDA1013B je u granicama od 10 V do 40 V, što ga preporučuje za upotrebu u uređajima koji se napajaju iz mreže.

Na slici 4.96 je dijagram na kome je prikazana zavisnodt izlazne snage kola TDA1013B od napona napajanja sa otpornošću zvučnika kao parametrom, koji omogućuje da se za svaku konkretnu potrebu pronađe optimalno rešenje. Na primer, ako je otpornost zvučnika R_{zv}=8 , a potrebna izlazna snaga P_{iz}=4 W, napon ispravljača treba da je V_p=17,5 V. Sa dijagrma se vidi da pri korišćenju zvučnika od 8 napon ispravljača ne sme da bude veći od 27 V, a pri korišćenju zvučnika od 4 ne sme da bude veći od 15 V.

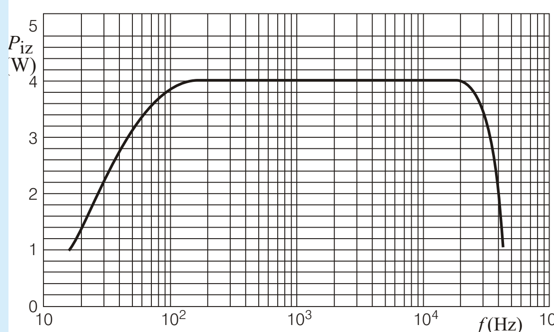
Prema podacima proizvođača kola, toplotna otpornost između hladnjaka i okoline, u slučaju kada je temperatura okoline t_a=60 °C, a snaga 4W, je $R_{h\text{-}a}$=20 °C/W. Ako sami pravite hladnjak, prema dijagramu na slici 8.1, potreban je hladnjak od aluminijumskog lima u obliku kvadrata čija je stranica a=5 cm. Naravno, nije obavezno hladnjak bude u obliku kvadrata, može i u pogodnijem obliku pravougaonika, bitno je da da površina jedne njegove

strane bude 25 cm^2.

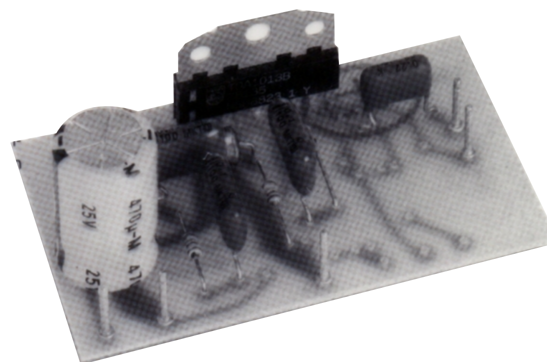
Na slici 4.97 je frekvencijska karakteristika pojačavača sa slike 4.95. Treba zapaziti da na ordinati nije pojačanje, kao što se obično radi, već snaga.

Pošto padu pojačanja od 3 dB odgovara smanjenje snage za 50 %, granične učestanosti su učestanosti na kojima je snaga P_{iz}=2 W: f_d=*30 Hz* i f_g=40 kHz.

Na slci 4.98 je fotografija štampane pločice sa komponentama pojačavača.



Slika 4.97. Zavisnost snage od učestanosti (V_p=18 V, R_{zv}=8 W, k=10%, V_7=7,5 V)



Slika 4.98. Eksperimentalna štampana pločica pojačavača sa slike 4.96

4.3.24. TDA1514A - 50 W - Hi-Fi pojačavač snage

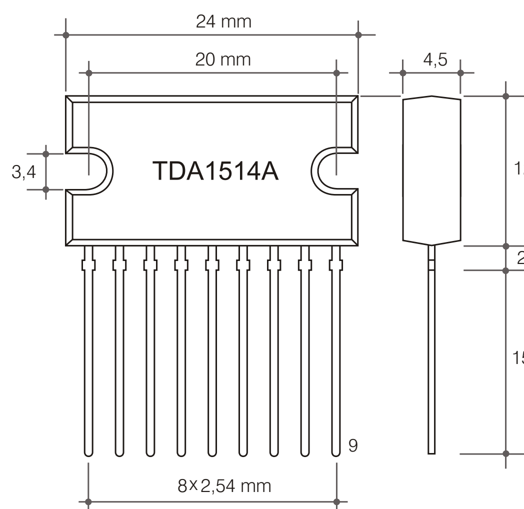
Velika izlazna snaga i visoke performanse čine ovaj pojačavač idealnim za upotrebu u Hi-Fi audio-pojačavačima vrhunskog kvaliteta, koji ispunjavaju zahteve za reprodukciju visoko kvalitetnih digitalno snimljenih signala (CD, DVD itd.). Kolo je u potpunosti zaštićeno, izlazni tranzistori pojačavača snage imaju termičku i SOAR zaštitu.

Napajanje može da bude asimetrično ili simetrično, sa naponom u granicama od ±10 V do ±30 V. Kolo je smešteno u 9-pinsko SIL kućište.

Podaci o izlaznoj snazi su u tabeli na slici 4.99, a izgled kola i dimenzije na slici 4.100.

Izlazna snaga (W)	k (%)
20 (40)	0,003
40 (50)	0,1
51 (65)	10

Slika 4.99. Izobličenja u zavisnosti od izlazne snage pri napajanju od ±27,5 V i otpornosti zvučnika od 8 . Vrednosti u zagradama su za napajanje od ±24 V i otpornost zvučnika od 4



Slika 4.100. Izgled i dimenzije kola TDA1514A

Osnovne karakteristike ovog kola su:

* Odlično potiskivanje brujanja.

* Veliki odnos signal/šum. Pri tihoj reprodukciji (P_{iz}=50 mW) snaga šuma koji se "čuje" iz zvučnika je više od deset hiljada puta manja od snage korisnog signala. Znaci navoda ukazuju da šum praktično ne postoji.

* Mogućnost *mute* i *stand-by* rada, pomoću jednosmernog napona koji se dovodi na nožicu 3. Struja napajanja u ovom režimu je samo 20 mA.

* Termička zaštita.

* Izlaz zaštićen od kratkog spoja za naizmeničnu struju (asimetrično napajanje) i za jednosmernu struju (simetrično napajanje).

* Veličina pojačanja može da se menja, menjanjem veličine otpornosti otpornika R_1 i i R_2, u granicama od 20 dB do 46 dB.

Pojačanje napona je:

$$A = 20\log((R_1+R_2)/R_2.$$

Sa vrednostima kao na slici pojačanje je $A = 20\log(20680/680) = 30$ dB. Veće pojačanje može da se ostvari promenom otpornosti R_1 i R_2. Pri tome, ne treba preterivati, jer pri

pojačanju većem od 46 dB (200 puta) pojačavač ne radi stabilno (počinje da osciluje).

* Mala harmonična i intermodulaciona izobličenja
* Nema "klikova" pri uključivanju i isključivanju
* Vrlo mala termička otpornost

Zoom

Električna šema pojačavača snage sa kolom TDA1514A je data na slici 4.101. Napajanje je simetrično, na nožicu 6 se dovodi jednosmeran napon koji je pozitivan u odnosu na masu, a na nožicu 4 jednosmeran napon koji je negativan u odnosu na masu. Ta dva napona mogu da se dobiju pomoću ispravljača koji je prikazan u donjem delu slike. Snaga mrežnog transformatora treba da je veća od 70 W. (U praksi se, "za svaki slučaj", obično uzima da je snaga transformatora veća od potrebne vrednosti, što bi u našem slučaju moglo da bude oko 100 W.) Sa naizmeničnim naponom na sekundaru kao na slici (2x18 V), jednosmerni naponi na nožicama 6 i 4 će, pri punoj izlaznoj snazi, biti oko ±24 V, pa će izlazna snaga, sa zvučnicima otpornosti 4 Ω, biti oko 51 W.

* Na slici 4.101 su zvučnici otpornosti 8 Ω. Sa zvučnicima otpornosti 4 Ω, umesto otpornika od 82 Ω i 150 Ω treba koristiti otpornike približno dva puta manje otpornosti, 47 Ω i 82 Ω.

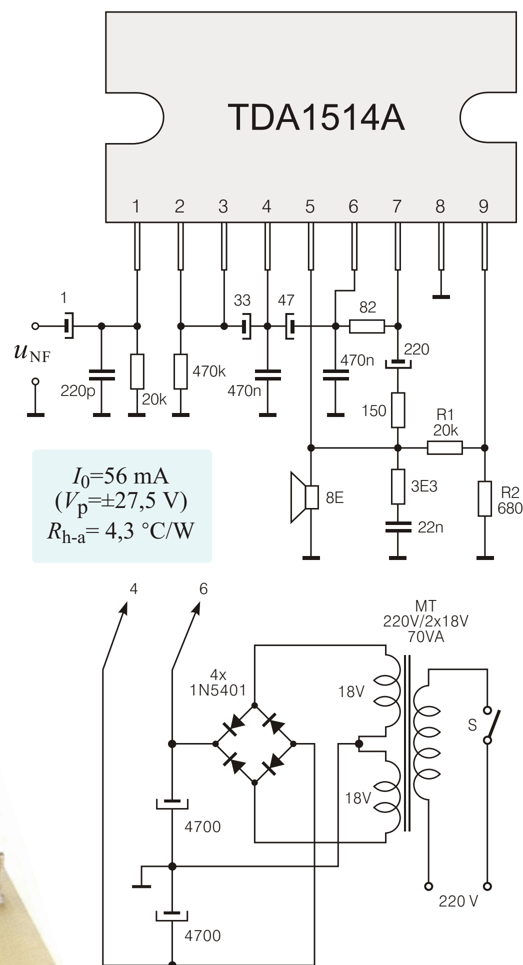
* Šema može da se uprosti ako se izostave otpornici od 82 Ω i 150 Ω i kondenzator od 220 μF, ali je tada izlazna snaga manja za 4 W. U tom slučaju nožica 7 se spaja sa nožicom 6.

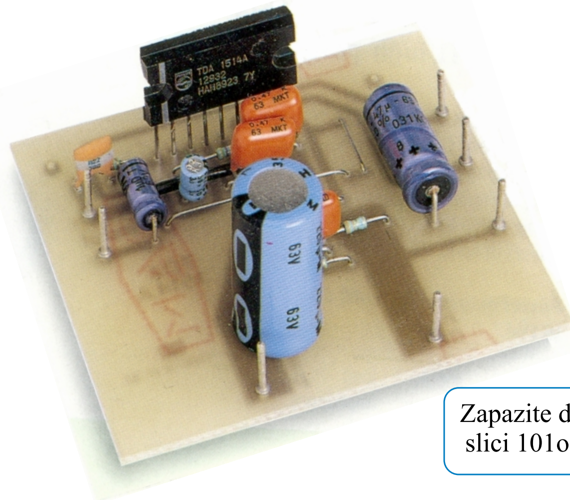
* Metalna pločica na zadnjoj strani kola je u spoju sa nožicom 4 pa je napon na njoj –27,5 V. Taj napon je i na hladnjaku ako se ne koristi nikakav podmetač.

* Toplotna otpornost između hladaka i okoline treba da je jednaka, ili manja, od 4,3 °C/W. Montaža kola na hladnjak može da se obavi na način opisan u tekstu u vezi sa slikom. 4.44-c.

* Eksperimentalna štampana pločica sa komponentama pojačavača snage prikazana je na donjem delu slike 4.101. Na pinove sa leve strane se dovodi ulazni signal u_{NF}, na pinove sa desne strane se dovode jednosmerni naponi iz ispravljača (+, – i masa), i na pinove sa donje strane se priključuje zvučnik.

* Mali ofset napon (2 mV) omogu-ćuje da se dva TDA1514A povezu u mostni spoj koji omogućuje ostvarivanje izlazne snage od 100 W. Električna šema takvog pojačavača, zajedno sa ispravljačem, je data na slici 4.102, a podaci o izlaznoj snazi su u tabeli na slici 4.103.

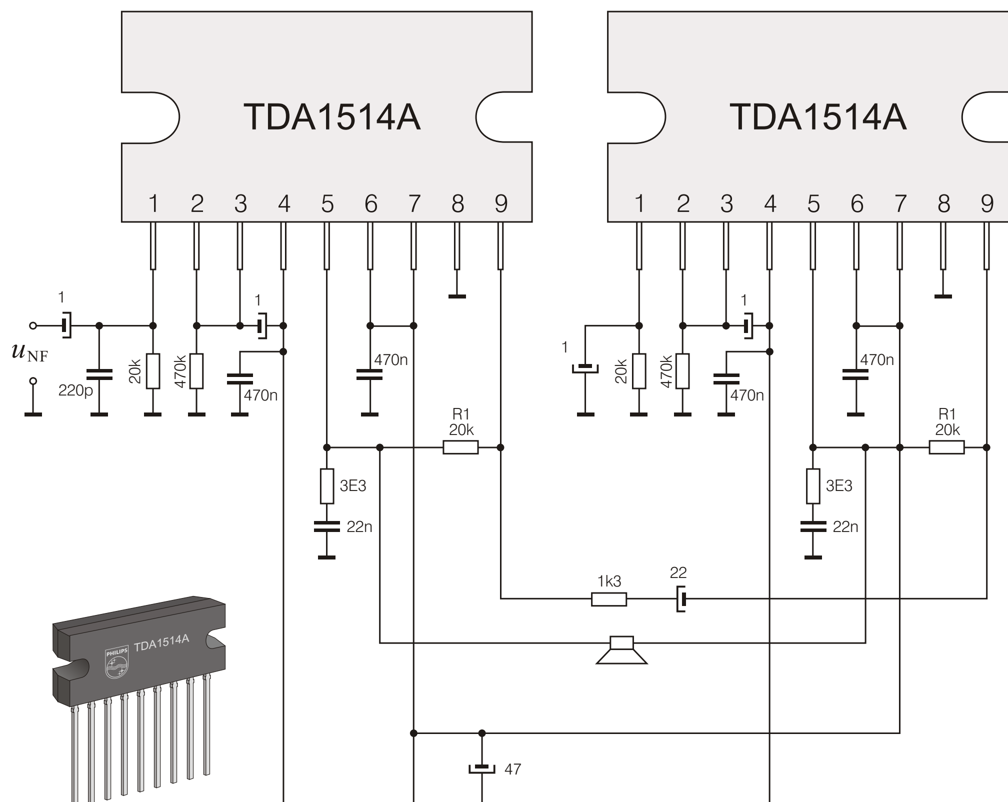




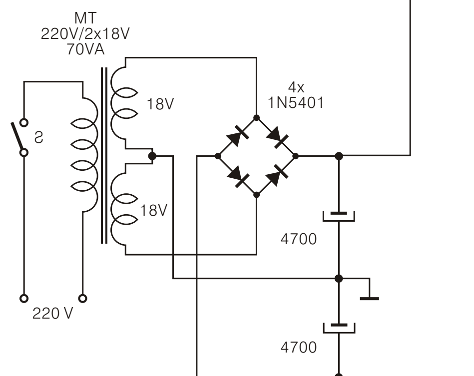
Zapazite da je u simetričnom ispravljaču na slici 101ostvareno dvostrano usmeravanje.



Slika 4.101. Pojačavač snage sa TDA1514A



Podaci za snagu u tabeli su za k=0,1 %.



Slika 4.102. Pojačavač snage sa dva TDA1514A u mostnom spoju sa ispravljačem



Izlazna snaga (W)	Napon napajanja (V)	Otpornost zvučnika ( )
100	±24	8
70	±27,5	16
65	±20	8
55	±15	4

Slika 4.103. Izlazna snaga dva TDA1514A u mostnom spoju zavisnosti od napona napajanja i opterećenja

4.3.25. TDA1521A - Hi-Fi pojačavač snage

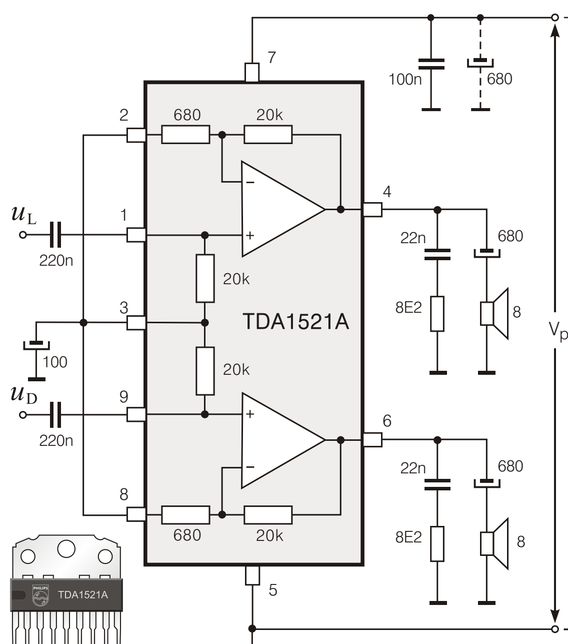
TDA1521A je dvostruki Hi-Fi pojačavač snage smešten u 9-pinsko plastično kućište oblika i dimenzija kao na slici 4.48-a. Kolo je predviđeno za napajanje iz električne mreže, preko nesimetričnog ispravljača napona od 15 V do 40 V, ili preko simetričnog ispravljača napona od ±7,5 V do ±20 V. Mali ofset napon (40 mV) omogućuje i korišćenje mostnog spoja. TDA1521 se isporučuje i sa nožicama savijenim tako da odgovaraju DIL formatu.

Osnovne karakteristike kola su:

* Veoma malo spoljnih komponenata
* Nema "klikova" pri uključivanju i isključivanju
* Termička zaštita
* Fiksno naponsko pojačanje od 30 dB (sa napajanjem od ±16 V i zvučnikom otpornosti 8), koje obezbeđuje da su pojačanja oba pojačavača praktično jednaka
* Odlično potiskivanje brujanja iz ispravljača
* Odlično razdvajanje kanala, 70 dB. (Za stereofonsku reprodukciju je vrlo važno da signal iz levog kanala ne pređe u desni, i obrnuto da iz desnog ne pređe u levi, jer to kvari utisak o prostornosti. To nije moguće ostvariti u potpunosti, ali se konstruktori trude da preslušavanje (prelazak signala iz jednog u drugi kanal) bude što je moguće manje. U slučaju kola TDA1521(A) ovo potiskivanje preslušavanja je 70 dB. To znači da, tokom rada, u desni kanal pređe samo trihiljaditi (približno) deo signala iz levog kanala, i obrnuto.
*Kola odgovarajuzahtevima koji su za Hi-Fi uređaje predviđeni IEC 268 i DIN 45500 standardima.

Električna šema stereofonskog pojačavača snage sa kolom TDA1521A sa asimetričnim napajanjem, data je na slici 4.104. Jednosmerni napon na nožici 3, između nje i mase, je jednak polovini napona napajanja i to može da bude jedan od podataka o ispravnosti kola.

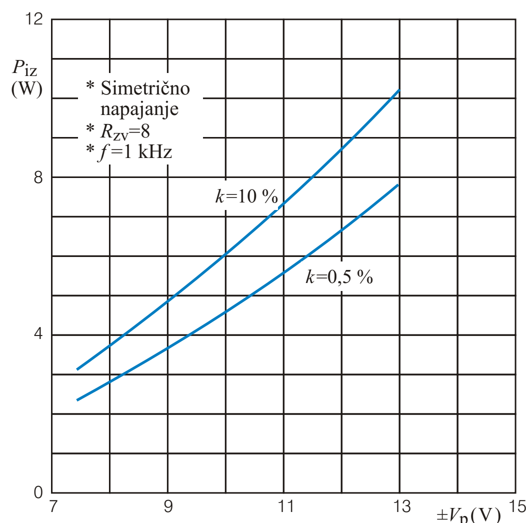
Podaci o izlaznoj snazi se nalaze na dijagramu na slici 4.105. Kao što može da se vidi, sa naponom napajanja od 24 V, koji preporučuje proizvođač kola, i pri klir faktoru k=10%, izlazna snaga je oko 8,6 W po pojačavaču, dok je pri k=0,5 % oko 6,3 W po pojačavaču.



Slika 4.104. Stereofonski pojačavač snage sa TDA1521A sa nesimetričnim napajanjem

Električna šema i fotografija stereo pojačavača sa kolom TDA1521 sa simetričnim napajanjem je na slici 4.106. Sada je jednosmerni napon na nožici 3 jednak nuli pa se ona spaja direktno, a ne preko kondenzatora, sa masom.

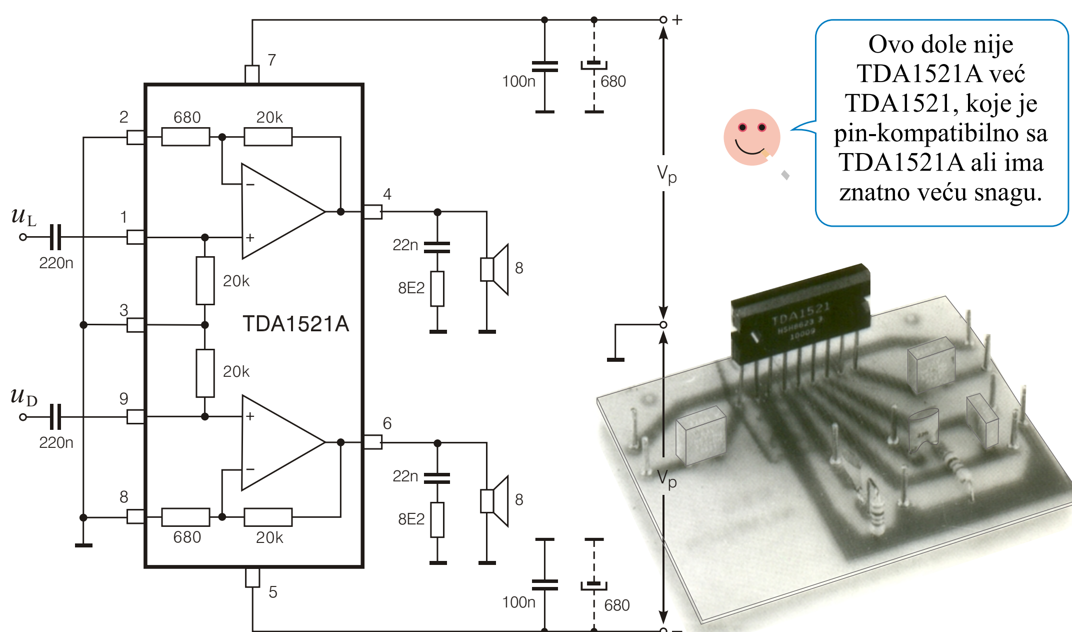
Ako se pojačavač sa slike 4.106 smešta u metalnu kutiju, pri montaži hladnjaka treba imati u vidu da je metalna pločica (*tab* ili *fin* na engleskom) na kolu spojena sa nožicom 5 i da je jednosmerni napon na toj nožici jednak $-V_p$. Sve je u redu ako hladnjak nije u spoju sa metalnom kutijom, koja je spojena sa masom da bi delovala kao Faradejev kavez. Ako je hladnjak spojen sa kutijom, ili se kutija koristi kao hladnjak, tada kolo mora da se izoluje od hladnjaka, na ranije opisan način.



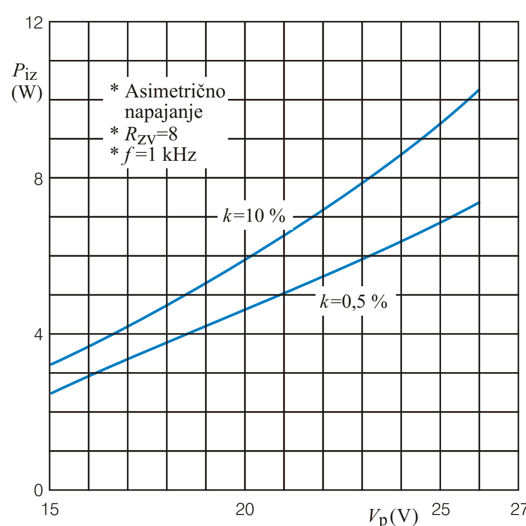
Slika 4.105. Zavisnost izlazne snage od napona napajanja kola TDA1521A sa simetričnim napajanjem

Simetrično napajanje ima nekih prednosti u odnosu na nesimetrično napajanje. Nisu potrebni kondenzatori na red sa zvučnikom, radni napon kondenzatora je dva puta manji, što se odražava i na njihove dimenzije i na cenu, struje u sekunadarima mrežnog transformatora, a time i kroz ispravljačke diode, su manje. Snaga transformatora, naravno, ostaje ista.

Na slici 4.107 je dijagram zavisnosti izlazne snage od napona pri simetričnom napajanju. Sa naponom od ±12 V dobija se ista snaga kao sa 24 V pri nesimetričnom napajanju.



Slika 4.106. Stereofonski pojačavač sa kolom TDA1521 sa simetričnim napajanjem



Slika 4.107. Zavisnost izlazne snage od napona pajanja kola TDA1521A sa nesimetričnim napajanjem

* Po preporuci proizvođača kola, pri napajanju od ±12 V i sa zvučnikom otpornosti 8 , toplotna otpornost hladnjaka treba da je $R_{h\text{-}a}$=5,5 K/W (stepena Kelvina po vatu, što je isto što i ^{o}C/W).

Prema slici 7.2, ako se hladnjak pravi od aluminijumskog lima debljine 1mm on treba da ima površinu od približno 16X16 cm^2. To je prilično veliki komad. Biće manji ako koristite deblji aluminijumski lim. Rešenje problema sa tanjim limom je na slici je 2.40b u "*Praktičnoj* ELEKTRONICI 2". Pravo rešenje je, ipak, fabrički izrađen hladnjak.

4.3.26. TDA2611A - 4 W B 10 W pojačavač snage

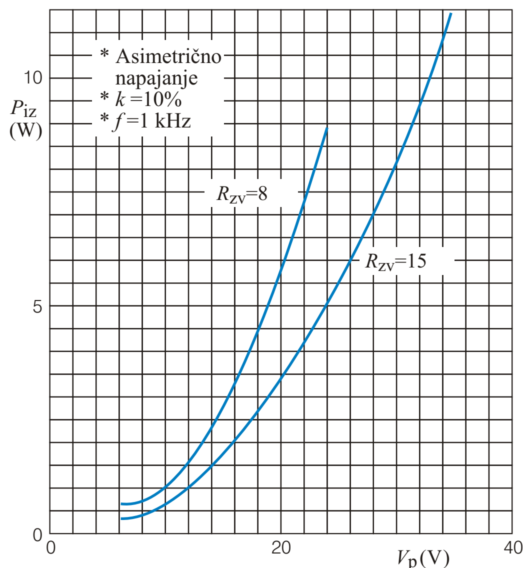
TDA2611 je monolitno integrisano kolo u kućištu SIL-9, slika 4.48-a, sa visokim naponom napajanja.

Ovaj pojačavač se reklamira kao idealan za TV prijemnike, ali ga je moguće koristiti i u bilo kom audio-pojačavaču opšte namene. Napaja se iz asimetričnog ispravljača čiji je

napon u granicama od 6 V do 35 V. Osetljivost je 55 mV pa, ako je efektivna vrednost napona koji se pojačava 55 mV ili veća, predpojačavač nije potreban.

Zavisnost veličine izlazne snage od napona napajanja i otpornosti zvučnika prikazana je na slici 4.108. Kao što se vidi, ako se koristi zvučnik od 8 napon napajanja ne sme da bude veći od 24 V, a ako je otpornost zvučnika 15 , napon ne sme da bude veći od 35 V. U prvom slučaju, maksimalna izlazna snaga je oko 9 W, a u drugom oko 11 W. To su vrednosti pri kojima je klir- faktor k =10%. Sa manjim vrednostima klir- faktora, snaga je manja.

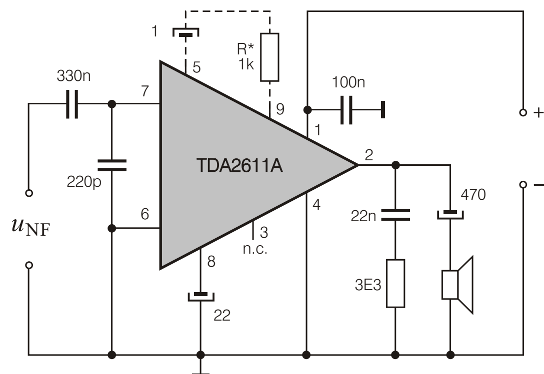
Električna šema i fotografija štampane pločice sa komponentama pojačavača su prikazane na slici 4.109.

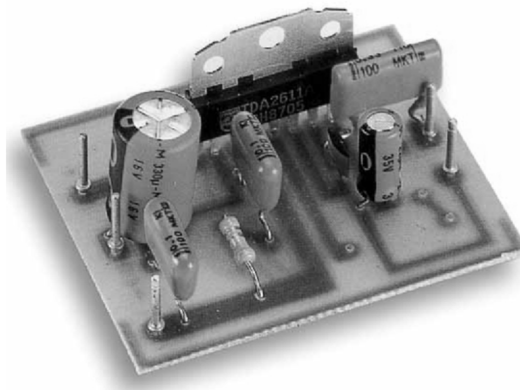


Slika 4.108. Zavisnost izlazne snage kola TDA2611A od napona napajanja i opterećenja

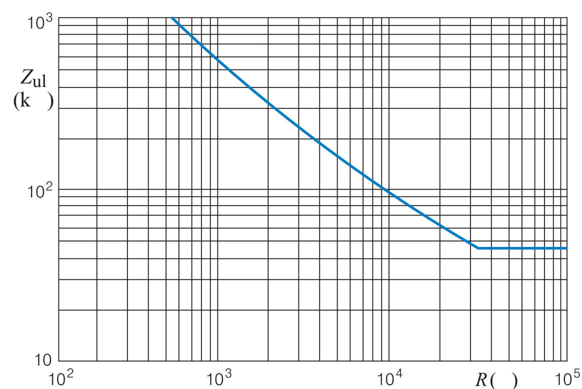
Jedna od posebnih karakteristika ovog pojačavača je mogućnost podešavanja veličine ulazne otpornosti. Naime, ulazna otpornost, kada između nožica 5 i 9 nije ništa priključeno, je 45 k . Kada se priključe redno vezani kondenzator kapacitivnosti 1 F i otpornik R, ulazna otpornost može da se podešava promenom otpornosti R. Zavisnost ulazne otpornosti od otpornosti R prikazana je na dijagramu na slici 4.110. Sa R=1 k , kao na slici, ulazna otpornost je R_{ul}=580 k , što je veličina koja je optimalna ako se pojačavač koristi za pojačavanje signala keramičke zvučnice gramofona i sličnih izvora koji imaju veliku unutrašnju otpornost.

Sa napajanjem od 18 V i zvučnikom od 8 termička otpornost hladnjaka treba da je 29 K/W, što se, prema slici 7.2, ostvaruje aluminijumskom pločicom čija je površina nešto veća od 16 cm^2.

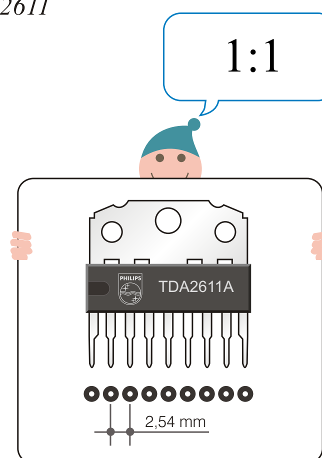




Slika 4.109. Audio pojačavač sa kolom TDA2611



Slika 4.110. Zavisnost ulazne impedanse (ulazne otpornosti) od otpornosti R

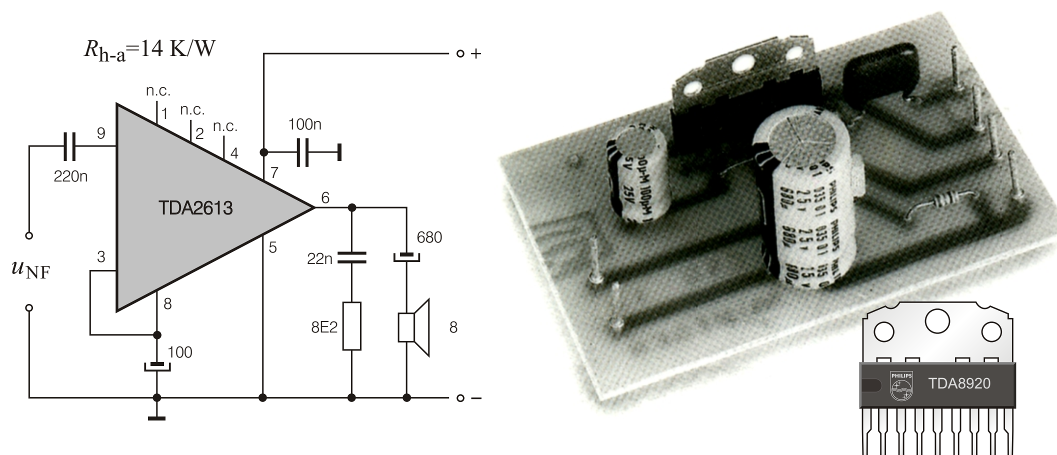


4.3.27. TDA2613 - 6 W Hi-Fi pojačavač snage

TDA2613 je Hi-FI (Hihg-Fidelity - visoka vernost) pojačavač snage u 9-pinskom plastičnom SIL kućištu sa slike 4.48-a. Kolo je napravljeno specijalno za napajanje iz gradske mreže preko asimetričnog ispravljača (15 V do 40 V) ali postoji i mogućnost simetričnog napajanja (±7,5 do ±20 V).

TDA2613 je pin-kompatibilno sa jednom polovinom TDA1521A i može da se kaže da je njegova mono verzija.

Sa zvučnikom od 8 i asimetričnim napajanjem od 24 V ili simetričnim od ±12 V, izlazna snaga je 8 W (k=10%), 6 W (k=0,5%) i 4 W (k=0,13%).



Slika 4.111. Audio pojačavač sa TDA2613 sa asimetričnim napajanjem

Važniji podaci su:

*Vrlo malo spoljnih komponenata

* Nema „klikova" pri uključivanju i isključivanju

* Mali ofset napon

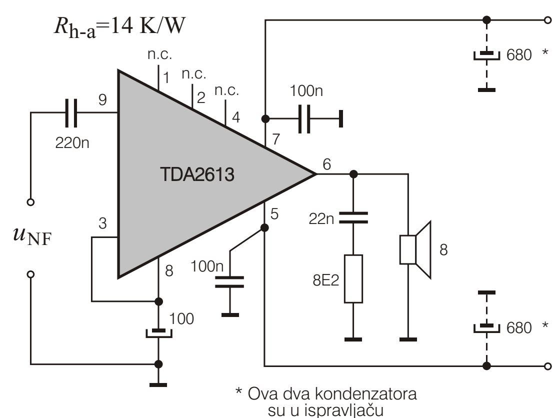
* Zaštita od kratkog spoja na izlazu

* Termička zaštita

* Fiksno pojačanje napona (30 dB)

* Kolo odgovara zahtevima koje, prema standardima IEC 268 i DIN 45500, moraju da ispune Hi-Fi uređaji.

Na slici 4.111 su električna šema i fotografija štampane pločice pojačavača sa kolom TDA2613 sa nesimetričnim napajanjem, a na slici 4.112 je električna šema istog pojačavača sa simetričnim napajanjem.



Slika 4.112. Audio pojačavač sa TDA2613 sa simetričnim napajanjem

4.3.28. TDA8920 - 2x50W - pojačavač snage klase D

Izlazni tranzistori svih do sada opisanih pojačavača snage rade u međuklasi AB, mnogo bliže klasi B nego klasi A, tako da je njihov koeficijent korisnog dejstva oko 65%, a nekih i manji. To znači da od ukupne električne energije koju pojačavač snage primi od ispravljača ili baterije, 65%, ili manje, biva predato zvučniku, u kome se ona pretvara u akustičku energiju, a 35%, ili više, se pretvara u toplotu. Na primer, ako je jednosmerni napon ispravljača U_0=18 V, a struja koja iz ispravljača teče u pojačavač I_0=5 A, tada je snaga ispravljača:

$$P_0=U_0 \cdot I_0=18 \cdot 5=90 \text{ W}.$$

(Snaga kojom ispravljač opterećuje električnu mrežu je, zbog gubitaka u transformatoru i diodama, nešto veća i obično se uzima da je veća za oko 10 %.)

Ako je koeficijent korisnog dejstva (efikasnost) pojačavača snage =0,65=65 %, tada pojačavač predaje zvučniku snagu

$$P_{iz}= \ \cdot P_0=0{,}65 \cdot 90 \text{ W}=58{,}5 \text{ W},$$

a u toplotu se pretvara

$$P_d=(1- \ ) \cdot P_0=(1-0{,}65) \cdot 90 \text{ W}=31{,}5 \text{ W}.$$

(Snaga P_d je snaga disipacije i to je snaga koja se koristi pri proračunu hladnjaka.)

Jasno je da je 31,5 suviše veliko u odnosu na 58,5, pa je jasno i zašto konstruktori ulažu napore da se ovaj odnos smanji. Rešenje je pojačavač sa izlaznim tranzistorima u tzv. klasi D. Reč "tzv" ukazuje na to da se ne radi o klasi u pravom smislu te reči. Izlazni tranzistori su u klasi B, a željeni efekat velikog koeficijenta korisnog dejstva se ostvaruje tako što tranzistori rade u prekidačkom režimu: kada provode struju napon na njima je jednak nuli, kada na njima postoji napon oni ne provode struju. To se ostvaruje tako što se analogni signal koji se pojačava pretvara u PWM signal, odnosno u povorku pravougaonih impulsa čija se

širina menja u skladu sa trenutnom vrednošću analognog signala. Ovim signalom se pobuđuju izlazni tranzistori pojačavača, pa se na izlazu dobija *PWM* signal velike snage, koji se, preko LC filtra propusnika niskih učestanosti vodi na zvučnik. Filtar potiskuje VF komponente *PWM* signala tako da se na zvučniku ponovo dobija analogni signal, istog oblika kao pobudni signal na ulazu pojačavača, ali mnogo veće snage.

TDA8920 je pojačavač snage klase D, koji može da se koristi kao monofonski pojačavač snage 130 W ili kao stereofonski pojačavač snage 2x50 W. Kolo radi sa vrlo širokim opsegom napona napajanja, od ±15 V do ±30 V.

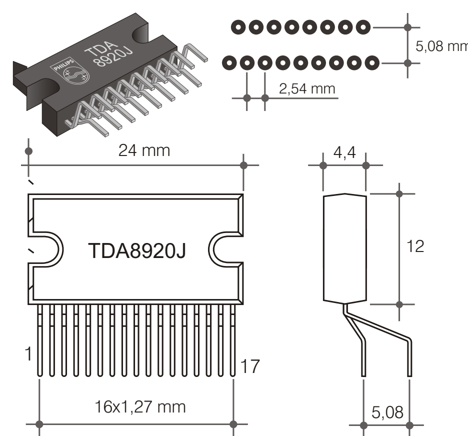
Njegove osnovne karakteristike su:
* Velika efikasnost (90 %)
* Vrlo mala mirna struja
* Mala izobličenja
* Velika izlazna snaga
* Ograničavač izlazne snage
* Dobro potiskivanje brujanja
* Mogućnost menjanja učestanosti oscilatora
* Diferencijalni ulazi
* Nema "klikova" pri uključivanju i isključi-vanju
* Zaštita od kratkog spoja izlaznih priključaka
* Termička zaštita
* Zaštita svih nožica od elektrostatičkih pražnjenja

Kolo je smešteno u plastično 18-pinsko SIL kućište čiji su izgled i dimenzije prikazani na slici 4.113. Nožice su savijene tako da su u dva reda između kojih je rastojanje 2*R*=5,08 mm, a rastojanja između nožica u istom redu *R*=2,54 mm, što omogućuje montažu

Opis rada kola TDA8920 je u prilogu "Klasa D", u "Dodacima".

Veliko - mali hladnjak.

Metalna pločica na kolu je spojena sa nožicama 8 i 10, pa je na njoj napon –25 V.



Slika 4.113. Izgled i dimenzije kola TDA8920

Slika 4.114. Stereofonski pojačavač snage sa kolom TDA8920

na različite matadore i univerzalne štampane pločice.

* Postoji i pakovanje kola sa oznakom TDA8920TH za površinsku montažu. Ono ima dvadest nožica, a na štampanoj pločici zauzima pravougaoni prostor čije su dimenzije samo 16mm x 14mm.

Električna šema dvokanalnog pojačavača snage sa TDA8920J prikazana je na slici 4.114.

Bez otpornika R_{LIM}, tada je nožica 16 spojena sa nožicama 8 i 10, izlazna struja je ograničena na I_{izmax}=7 A. Ako je potrebno da se struja ograniči na neku manju vrednost dodaje se otpornik R_{LIM} čija se otpornost izračunava po obrascu

$$R_{LIM}=(7/I_{izmax}-1)\cdot 10^4,$$

u kome je I_{izmax} u amperima. Na primer ako se želi da maksimalna vrednost izlazne struje bude I_{izmax}=5 A, tada je

$$R_{LIM}=(7/5-1)\cdot 10^4=4\ k\ .$$

Ako, tokom rada, izlazna struja postane veća od vrednosti na koju je ograničena, pojačavač se isključi i svakih 20 ms pokušava da se ponovo uključi. Ukjučiće se tek kad uzrok preteranog porasta struje bude otklonjen.

U kolu TDA8920 se nalazi i oscilator pomoću koga se analogni signal pretvara u *PWM* signal. Njegova učestanost je data obrascem

$$f_{OSC}=5\cdot 10^9/R_{OSC}\ \ (Hz).$$

Sa R_{OSC}=10 k , kao na slici, učestanost oscilatora je 500 kHz, a može, ako je potrebno, da se smanji povećavanjem otpornosti.

Sa O/F/O/M je obeleženo kolo koje stvara odgovarajući jednosmerni napon koji se vodi na nožicu 17, između nje i mase, a kojim se upravlja radom pojačavača. Jedno od mogućih rešenja ovog kola je prikazano na slici 4.115. Pomoću prekidača S1 se ostvaruje "mekano" uključivanje i isključivanje pojačavača, a pomoću S2 prebacivanje pojačavača iz stanja MUTE (ne radi ali je spreman za rad) u stanje OPERATE (radi).

Kalemovi induktivnosti 100 H i kondenzatori kapacitivnosti 390 nF obrazuju NF filtre koji na zvučnike propuštaju samo NF komponentu *PWM* signala sa izlaza pojačavača. Pri nabavci kalemova treba imati u vidu da oni treba da izdrže struju od 7 A, što je prilično velika vrednosti. U kućnoj radinosti kalemovi se prave tako što se na valjkastom kalemskom telu prečnika 15 mm namota 25 zavojaka bakarne žice prečnika 1,2 mm izolovane lakom. Kalem se obavezno zalije epoksidnom smolom ili na neki drugi način fiksira.

Kondenzatori 2200 F/35 V su komponente filtra na izlazu ispravljača, ali je korisno da se nalaze na pločici na kojoj je pojačavač, što bliže nožicama 3 i 15, odnosno nožicama 8 i 10. Još bliže ovim nožicama treba da su njima paralelni kondenzatori od 100 nF.

Pri projektovanju štampane pločice treba voditi računa o uzemljenju u jednoj tački, o čemu je već bilo reči u prethodnim projektima.

Sa zvučnikom otpornosti 8 i napajanjem od ±25 V, kao na slici, izlazna snaga je 2x30 W (k=0,5%) odnosno 2x35 W (k=10%), a sa napajanjem ±30 V je 2x40 W odnosno 2x50 W.

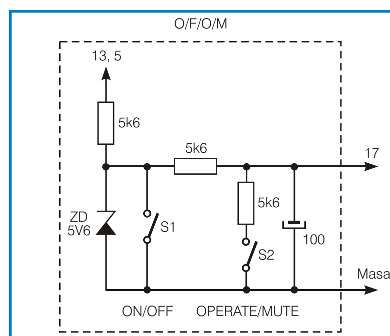
Na slici 4.116 je prikazna električna šema monofonskog pojačavača snage sa kolom TDA8920. I sada važi sve što je rečeno u vezi sa slikom 4.114.

Sa zvučnikom od 8 i napajanjem ±25 V izlazna snaga je 100 W (k=0,5%) odnosno 130 W (k=10%), a sa napajanjem od ±30 V je 150 W odnosno 190 W.

* Pojačanje napona oba pojačavača snage u kolu TDA8920 je A=30. Ovaj podatak omogućava da se izračuna osetljivost pojačavača za svaku od ranije navedenih snaga. Na primer, ako je ukupna snaga 2x50 W, izlazna snaga svakog pojačavača je P_{iz}=50 W. U tom slučaju, izlazni napon je $U_{iz}=\sqrt{R_{zv}\ P_{iz}}=\sqrt{8\ 50}=20\ V$, pa je ulazni napon:

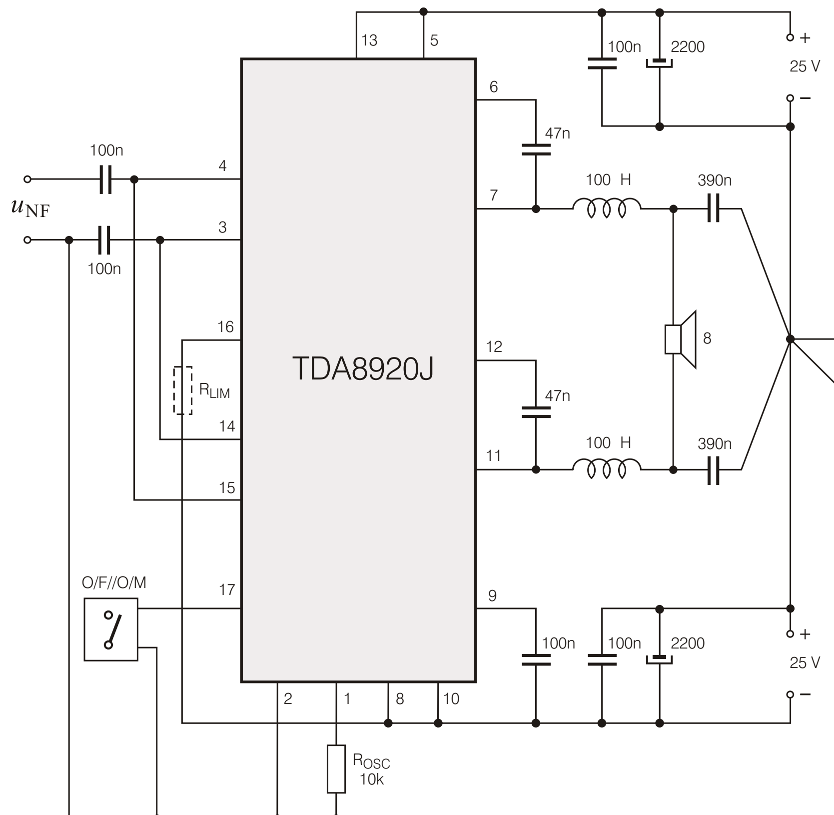
$$U_{ul}=U_{iz}/A=20/30=0,7\ V.$$

To znači da se izlazna snaga od 50 W po kanalu ostvaruje kada se na oba ulaza dovedu pobudni NF signali čije su efektivne vrednosti 0,7 V. Pri većim ulaznim naponima, snaga je veća ali su i izobličenja veća. Pri još većim ulaznim naponima, kad izlazna struja postane veća od ograničene vrednosti, pojačavač će da se isključi.



Kao i većina elektronskih uređaja, i ovaj pojačavač može da se uključuje/isključuje pomoću glavnog prekidača, kojim se prekida veza između uređaja i mrežnog napona. Bolje rešenje je kolo sa slike 4.115., koje se priključuje između nožice 17 i mase. Koriste se dva prekidača male snage. Pomoću S1 se vrši trajno uključenje/isključenje, a pomoću S2 privremeno (kad vam zazvoni telefon i sl.)

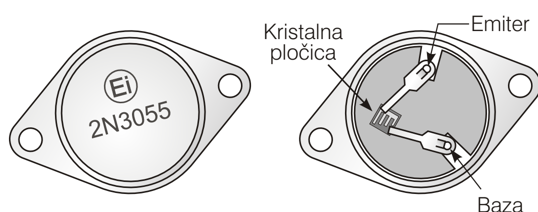
Slika 4.115. Kolo za ON/OFF *i* OPERATE/MUTE *operacije na pojačavaču sa slika 4.14 i 4.16*



Slika 4.116. Monofonski pojačavač snage sa kolom TDA8920

4.3.29. STK077 - 30 W - hibridni pojačavač snage

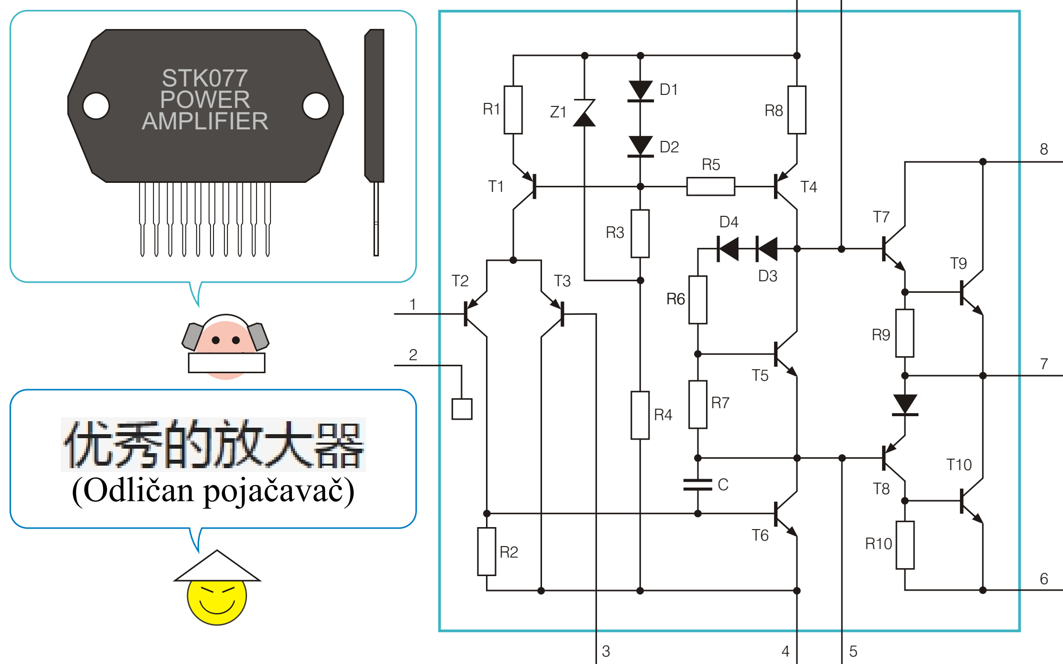
Pre mnogo godina, autor ovih redova je sa nekoliko svojih prijatelja sedeo u laboratoriji za "Radio-prijemnike" u ETŠ "Nikola Tesla" u Beogradu. Radno vreme je bilo isteklo, svi smo bili prilično umorni za neki ozbiljniji rad, pa smo vodili nevezani razgovor tokom koga smo zaključili da niko od prisutnih nije lično video šta se stvarno nalazi u unutrašnjosti kućišta u koje je smešten tranzistor. "Pa, da otvorimo jedan" reče neko, smejući se. I, otvorili smo. Uzeli smo snažan tranzistor 2N3055, stegli ga u stegu i, pažljivo turpijajući po gornjoj ivici, skinuli gornji deo kućišta. Pred našim očima se pojavio prizor koji je prikazan na desnom delu slike 4.117. Za dno kućišta je bila zalepljena vrlo tanka kristalasta pločica čije su zapremina i težina bile više od sto puta manje od zapremine i težine kućišta. A ta pločica, to je tranzistor! Sve ostalo je samo pakovanje.



Slika 4.117. Tranzistor 2N3055

Slična priča važi i za otpornike manjih snaga koji se najčešće koriste u audio-pojačavačima. Oni se prave tako što se na mali valjak od keramike nanese vrlo tanak sloj nekog otpornog materijala. Taj tanak sloj, čija su težina i zapremina mnogo manji od ukupne težine i zapremine otpornika, predstavlja otpornik. Ostalo je, i u ovom slučaju, pakovanje. Tim materijalom, rastvorenim u nekom razređivaču, može da se na pločici od izolatora četkicom nacrta pravougaonik širine, recimo, 8 mm i visine 2mm. Kada razređivač ispari, na pločici ostaje otpornik čija veličina otpornosti zavisi od debljine i dimenzija otpornog materijala. Kada se ima u vidu da postoje lepkovi koji dobro provode električnu struju, postaje jasno da na relativno maloj keramičkoj pločici mogu da se nacrtaju svi otpornici i zalepe svi tranzistori (bez kućišta, naravno) i ostvare potrebne veze nekog elektronskog uređaja. Tako se, uz pomoć još nekoliko žicanih veza i minijaturnih kondenzatora, proizvode tzv. hibridna integrisana kola, čiji su najpoznatiji predstavnici integrisani pojačavači snage iz serije STK. Ova kola je prva počela da proizvodi firma SANYO, ali su ih u svoje Hi-Fi audio uređaje ugrađivali i drugi poznati proizvođači, među njima i SONY, što svedoči o njihovom visokom kvalitetu.

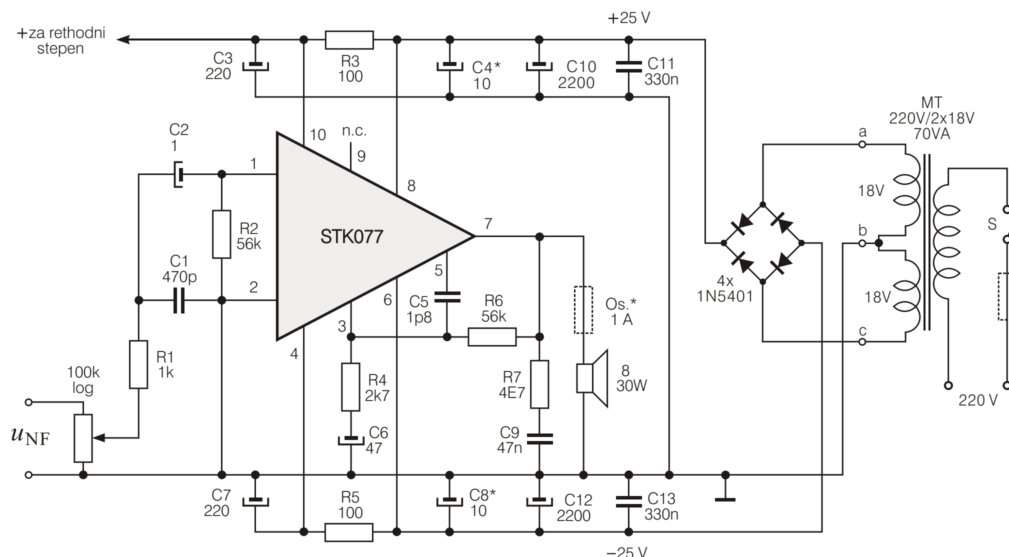
STK077 je hibridni pojačavač snage 30 W, izveden po električnoj šemi na slici 4.118, koja je dobro poznata onima koji su pravili audio-pojačavače u diskretnoj tehnici (od posebnih komponenata). Na ulazu je diferencijalni pojačavač sa tranzistorima T2 i T3, čiju emitersku otpornost predstavlja strujni izvor koji obrazuju T1, Rl, D1 i D2. Signal koji se pojačava se dovodi na bazu T2, a pojačan se dobija na otporniku R2, sa koga se vodi na drajver T6, čije je kolektorska otpornost strujni izvor T4. Tranzistor T5, zajedno sa D3, D4, R6 i R7, obezbeđuje konstantan jednosmerni napon na bazama izlaznih tranzistora, tako da



Slika 4.118. STK077, izgled i električna šema

kroz njih teče mirna struja od 50 mA. Tranzistori T7 i T9 su u Darlingtonovom, a T8 i T10 u kvazi Darlingtonovom spoju.

Električna šema pojačavača snage sa kolom STK077 i električna šema ispravljača prikazani su na slici 4.119. Pojačavač je projektovan tako da se napaja iz simetričnog ispravljača čiji je izlazni napon ±25 V. Kao što se vidi, napon na izlaznim tranzistorima (napon između kolektora T9 i emitera T10, odnosno napon između nožica 8 i 6) je 50 V. To je, što se tiče izlazne snage, isto kao da je emiter T10 spojen sa masom, a na kolektor T9, iz asimetričnog ispravljača, doveden napon +50 V. U kola napajanja prethodnih stepena (drajvera i diferencijalnog pojačavača) su ubačeni filtri koje obrazuju R3 i C3, odnosno R5 i C7. Negativna povratna sprega je ostvarena tako što se deo izlaznog napona, preko razdelnika koji obrazuju R6 i R4 (C6 je kratak spoj za naizmeničnu struju), vraća na nožicu 3, tj. na invertujući ulaz u pojačavač. Pojačanje napona je A = (R6+R4)/R4, što sa vrednostima kao na slici iznosi skoro 22.



Slika 4.119. Audio-pojačavač snage sa STK077

Signal koji se pojačava se vodi na neinvertujuci ulaz (nožica 1) diferencijalnog pojačavača. Kroz R2 teče struja baze tranzistora T2. Nožica 2 je spojena sa masom, a u samom čipu je spojena sa metalnom pločicom na koju su zalepljeni izlazni tranzistori, i na koju se montira hladnjak.

Stabilan rad pojačavača je obezbeđen Milerovim kondenzatorom C, koji je ugrađen u čip i kondenzatorom C5 (između pinova 3 i 5). Zobelovim kolom (C9 i R7) i NF filtrom R1 i C1 se smanjuju intermodulaciona izobličenja.

Osnovne tehničke karakteristike kola STK077 su date u tabeli na slici 4.120.

Sve komponente ispravljača, izuzev transformatora, su smeštene na štampanu ploču na kojoj su i ostale komponente pojačavača. Izgled štampane ploče je na slici 4.121, gore je pogled na ploču sa strane štampe, a dole sa strane komponenata. Nožice kola STK se

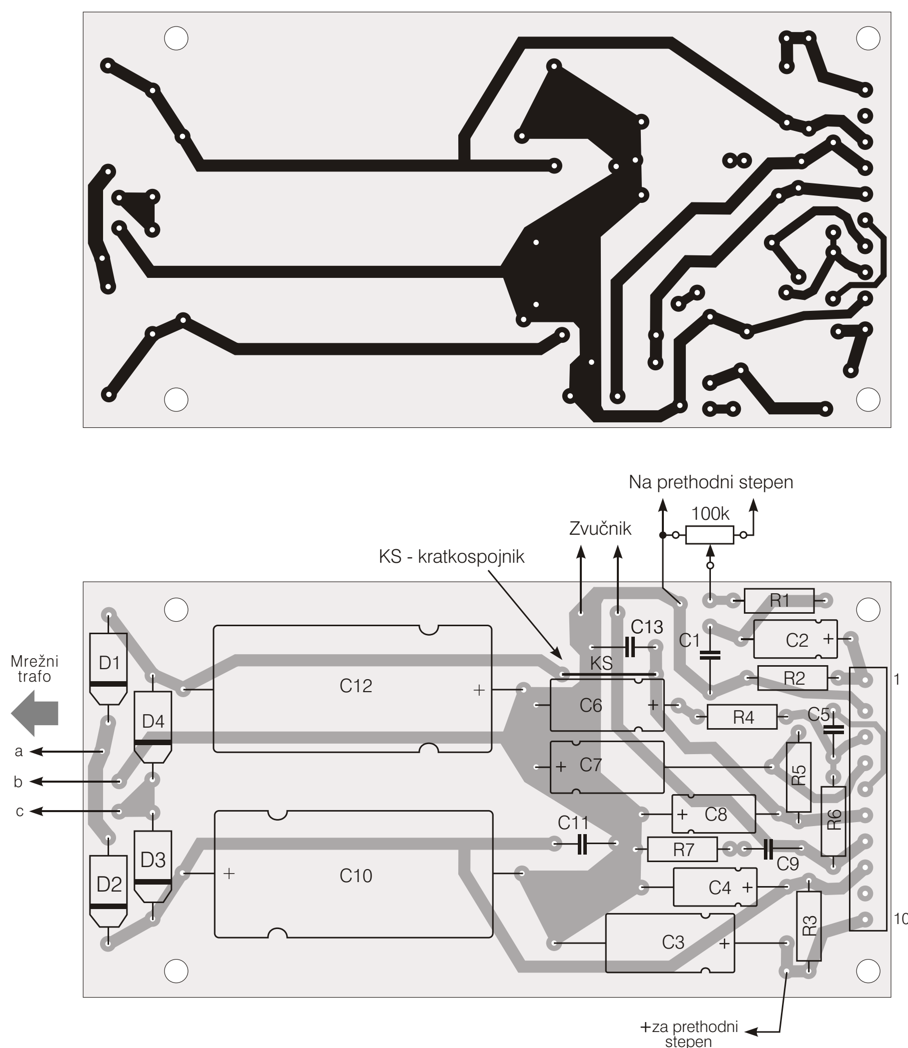
Napon napajanja	- maksimalno	±32 V
	- preporučeno	±22 V
Temperatura kućišta	- maksimalno	85 °C
Otpornost zvučnika	- maksimalno	8
	- minimalno	4
Mirna struja	- maksimalno	100 mA
	- tipično	50 mA
Izlazna snaga na 8	- minimalno	20 W
Propusni opseg	- za 1 W na 8 (u kHz)	0,01...100
	- za 20 W na 8 (u kHz)	0,03...100
Jednosmerni napon na izlazu	- max	±70 mV
Osetljivost	- za 20 W na 8 W	0,6 V
	- za 30 W na 4 W	0,5 V
Ulazna impedansa		50 k
Jednosmerna struja ispravljača	- za 20 W na 8	1A
	- za 30 W na 4	1,5 A
Trajanje kratkog spoja na izlazu	- maksimalno	2 sekunde

** U opsegu od 20 Hz do 20 kHz pri k=0,3% i Ub=±22 V*

Slika 4.120. Osnovne karakteristike kola STK077

provlače i leme u stopice označene brojevima 1 . . . 10.

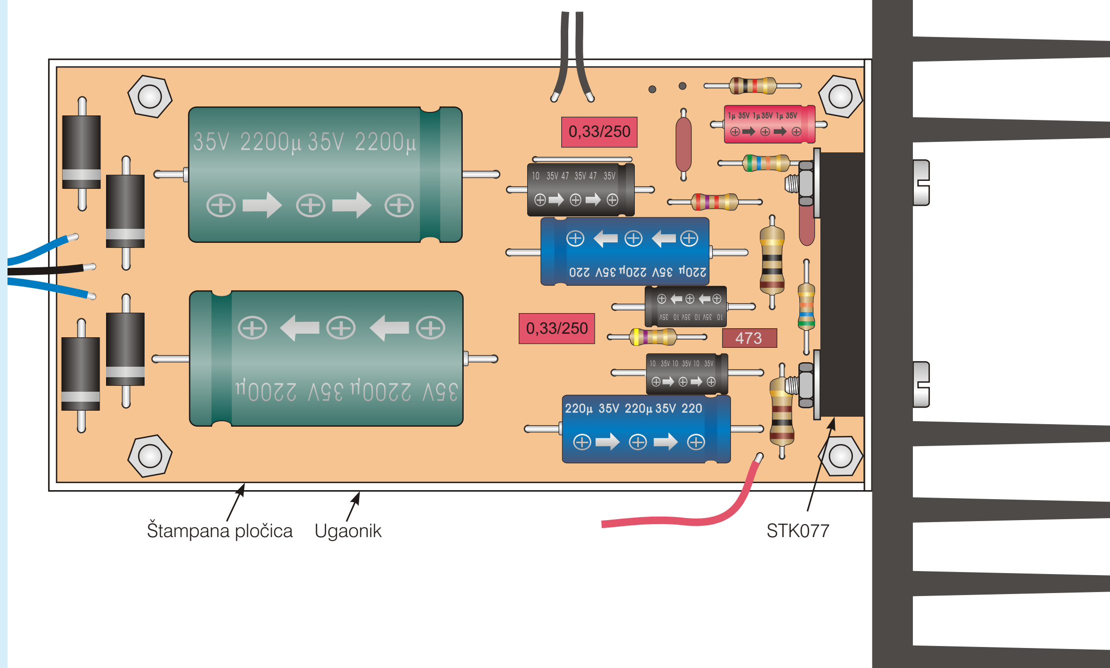
Na slici 4.122 je prikazan jedan od načina montaže hladnjaka, gore je pogled odozgo, a dole pogled sa strane. Ugaonik je napravljen od komada aluminijumske ploče savijene pod uglom od devedeset stepeni. Savijanje ploče treba obaviti veoma pažljivo, najbolje je da vam to uradi neki limar, tako da njen vertikalni deo bude potpuno ravan. Time se ostvaruje da integrisano kolo i hladnjak lepo naležu na ploču. Ipak, da se između njih i ploče ne bi zadržali vazdušni "džepovi" koji otežavaju prenos toplote, integrisano kolo i hladnjak, pre montaže, treba premazati specijalnom silikonskom mašću koja dobro provodi toplotu. Štampana pločica je pričvršćena na horizontalan deo ugaonika, pomoću

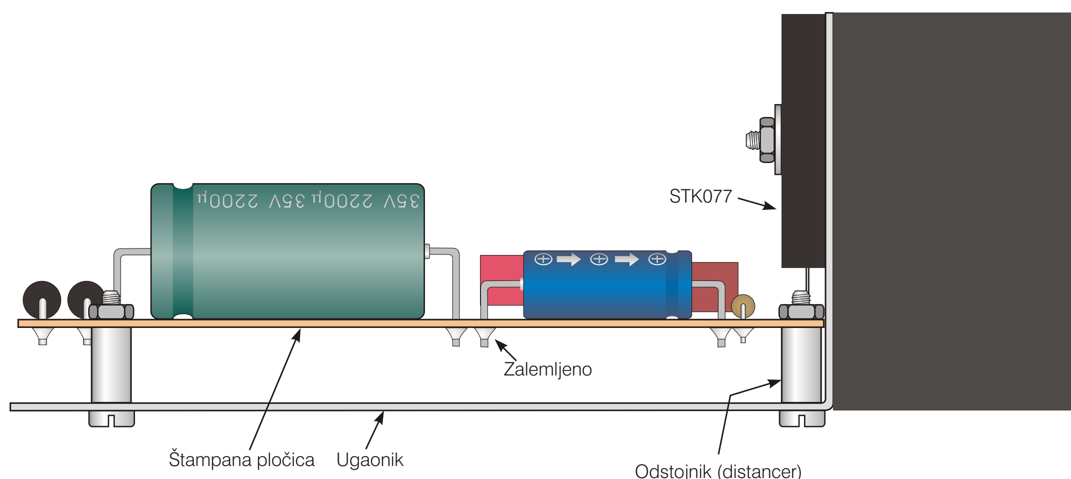


Slika 4.121. Štampana pločica pojačavača sa slike 4.119

dva zavrtnja od 3 mm i četiri odstojnika (distancera). Odstojnike možete da napravite od neke metalne ili plastične cevčice, čiji je unutrašnji prečnik malo veći od 3 mm, tako što ćete da odsečete četiri komada dužine oko 10 mm. Na ugaoniku i hladnjaku treba izbušiti po dve rupa za zavrtnje kojima se zajedno stežu integrisano kolo, ugaonik i hladnjak, kao i četiri rupe za zavrtnje kojima se ugaonik pričvršćuje za štampanu pločicu. Na gornjem i donjem delu kutije, u blizini hladnjaka, treba izbušiti više rupa kroz koje će da struji vazduh za hlađenje.

Ako je pojačavač smešten u metalnu kutiju, ona može da se koristi kao hladnjak. Montaža može da se obavi pomoću opisanog ugaonika, a, uz malo veštine, može i bez ugaonika.





Slika 4.122. Praktična realizacija pojačavača sa slike 4.119

Kada se koristi mrežni transformator koji na sekundaru ima 2x18 V, jednosmerni napon na izlazu ispravljača u praznom hodu (pojačavač nije priključen) je 25 V, a sa opterećenjem (pojačavač je priključen i radi sa punom izlaznom snagom) je oko 22 V. Struja sekundara transformatora treba da je oko 1 A, za izlaznu snagu do 20 W.

Kako ostvariti veću izlaznu snagu? Sa napajanjem od ±20 V, maksimalna izlazna snaga pojačavača sa kolom STK077 je 20 W (sa zvučnikom od 8), odnosno 30 W (sa zvučnikom od 4). U ovom drugom slučaju, veća je potrošnja struje a veća su i izobličenja. Još veća izlazna snaga može da se ostvari korišćenjem odgovarajućeg kola iz serije STK078...STK083. Štampana ploča je ista za sva kola, ali se koristi odgovarajući mrežni transformator i elektrolitski kondenzatori, o čemu su podaci dati u tabeli na slici 4.123.

Napomene:

* Snaga svih otpornika je 0,25 W.

* Radni napon kondenzatora je 40 V.

* Osigurač u primaru mrežnog transformatora je tzv. spori osigurač (2 sekunde), za struju od 100 mA.

* Osigurač u kolu zvučnika je takođe spor, za struju od 1 A (pri R_{zv}=8), odnosno 1,6 A (pri R_{zv}=4).

* Ako tokom rada pojačavača, nestane jednosmerni napon u samo jednoj grani napajanja (ili +25 V ili -25 V), integrisano kolo će biti uništeno. To znači da, pre prvog uključenja uređaja, treba pažljivo proveriti da li su sve komponente ispravljača ispravno spojene. Dalje, ni u kom slučaju ne treba stavljati osigurače bilo u pozitivan bilo u negativan vod napajanja. Važno je da su oba sekundarna napona kao i kapacitivnosti kondenzatora C10

		STK078	STK080	STK082	STK083
Napon napajanja - maksimalno -	[V]	±35	±39	±43	±46
- preporučeno	[V]	±25	±27	±30	±32
Otpornost zvučnika - preporučeno	[ ]	8	8	8	8
Izlazna snaga na 8 - minimalno	[W]	24	30	35	40
Sekundarni napon transformatora	[V]	2x20	2x22	2x25	2x27
Snaga transformatora	[W]	50	60	75	90
Osigurač (sa R_{ZV}=8)	[A]	1,2	1,6	1,6	2

Slika 4.123. Podaci za pojačavač sa STK078, STK080, STK082 i STK083

i C12 identični.

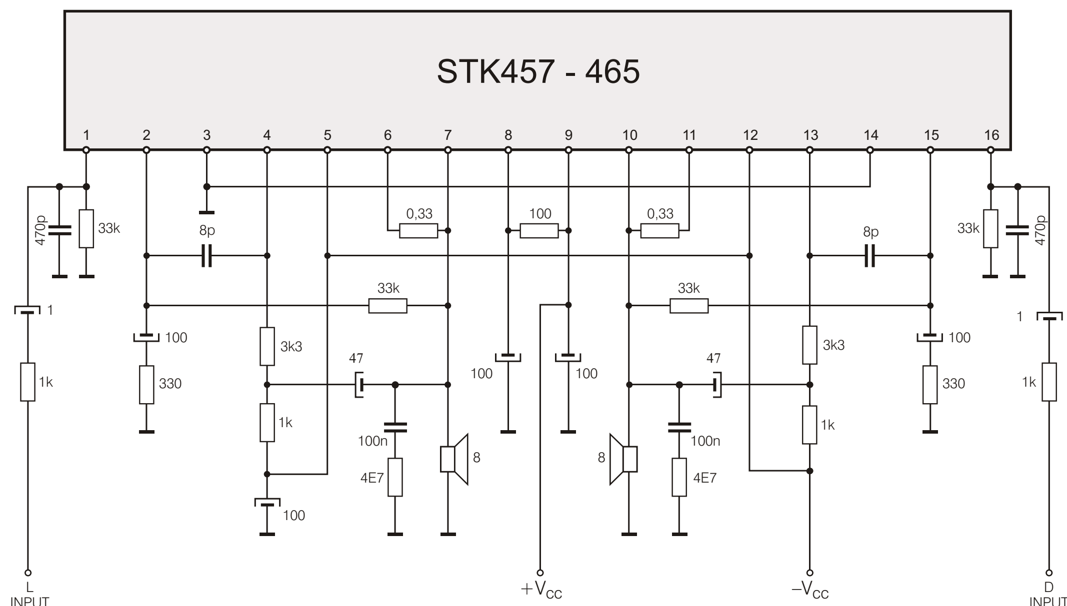
* Ako se uređaj koristi kao monofonski pojačavač, može da se u kolu zvučnika ugradi osigurač koji je na slici 4.119 prikazan isprekidanom linijom. To je spori osigurač (2 sek.) za struju od 1 A. Za ostala kola podaci o osiguraču su u tabeli na slici 4.123.

* Ako se naparave dva pojačavača za neki stereofonski uređaj, moguće je koristiti samo jedan mrežni transformator sa dva puta većom snagom, odnosno sa dva puta većom strujom sekundara. Spajanje sekundara sa štampanim pločicama treba ostvariti sa dva puta po tri žice. Isto tako, spoj sa zvučnicima treba ostvariti sa po dve posebne žice.

* Preporučljivo je koristiti zvučnike otpornosti 8 . Ako se koristi zvučnik od 4 , struja sekundara mrežnog transformatora treba da je bar 1,5 A, a treba koristiti transformator sa sekundarnim naponom 2x16 V (ili manje).

4.3.30. STK457 . . . STK465 - 10 - 30 W - hibridni pojačavači snage

Pored hibridnog integrisanog kola STK077, o kome je bilo reci u prethodnom projektu, proizvode se i druga kola iz porodice STK, koja se razlikuju po veličini izlazne snage. Električna šema, koja je data na slici 4.124, važi za sve pojačavače iz serije 457 . . . 465. Kao što se vidi sa slike, to su stereofonski (dvokanalni) pojačavači snage.



Slika 4.124. Pojačavači snage sa kolima STK457 . . . STK465

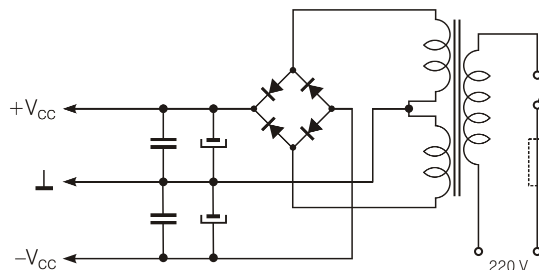
Između tačke "L INPUT" i mase dovodi se iz predpojačavača levi signal, a između tačke "R INPUT" i mase - desni. Otpornost zvučnika je 8 .

Napajanje je iz simetričnog ispravljača. Pozitivan kraj se spaja sa tačkom obeleženom sa $+V_{CC}$, negativan sa $-V_{CC}$, a masa sa masom pojačavača (videti sliku 4.125).

Ulazna otpornost pojačavača, merena na učestanosti f=1 kHz, je R_i=32 k .

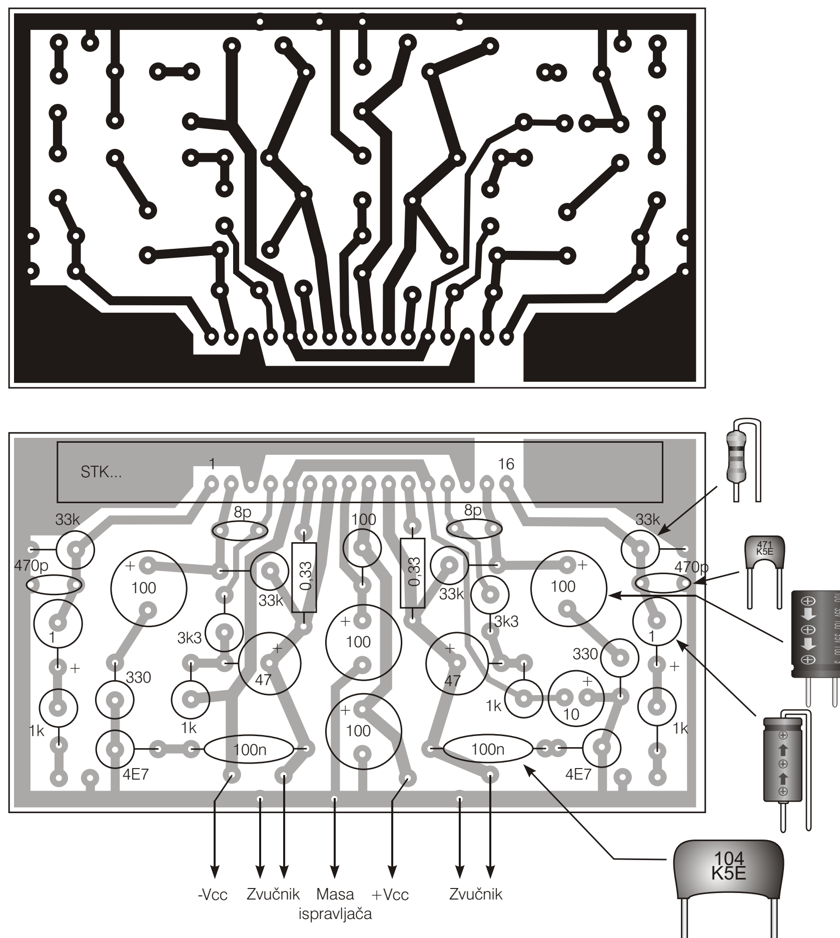
Podaci o naponu napajanja i izlaznoj snazi pojačavača dati su u tabeli na slici 4.125. Zapazite izuzetno mali faktor harmoničnih izobličenja, samo k=0,008% u opsegu od 20 Hz do 20 kHz.

Crtež štampane ploče je na slici 4.126. Gore je pogled na stranu bakra, a dole na stranu komponenata. Sve komponente, osim dva otpornika, su montirane uspravno, tako da je pločica vrlo malih dimenzija. Zapazite da su otpornici koji su montirani usparavno nacrtani u obliku malog kruga sa crtom koja ide do tačke u koju se lemi savijeni, gornji kraj otpornika.



Slika 4.125. Ispravljač za pojačavač sa slike 4.124

Blok kondenzatori su prikazani na američki način, kao izdužene elipse.



Slika 4.127. Štampana pločica pojačavača sa slike 4.124

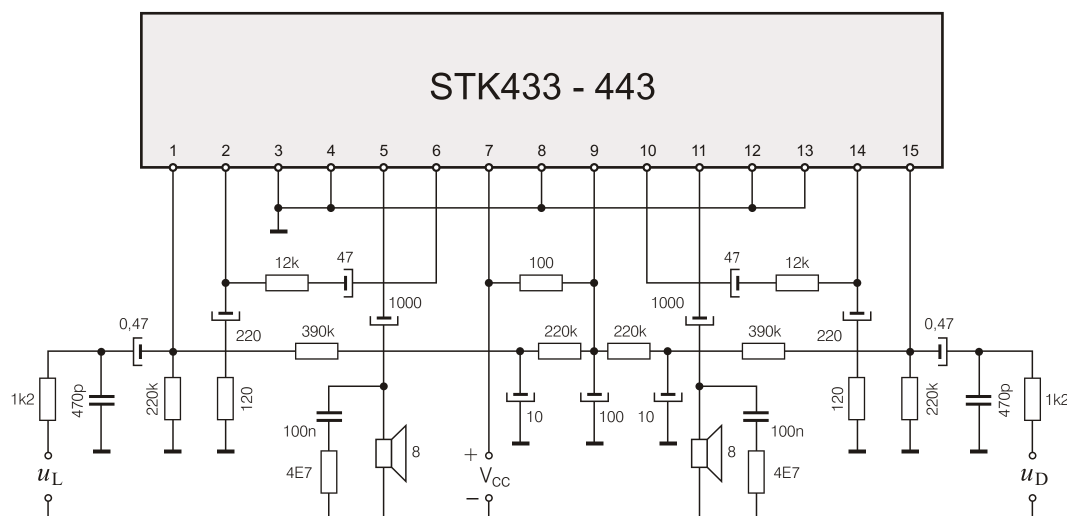
	STK457	STK459	STK460	STK461	STK463	STK465
Napajanje - maksimalno - [V]	±26	±31	±32	±33	±38	±41
- preporučeno - [V]	±18	±21	±23	±23	±26	±28
Izlazna snaga (k=0,008 %) - [W]	10	15	20	20	25	30

Slika 4.126. Podaci za pojačavače sa STK457 . . . STK465

4.3.31. STK433 . . . STK443 - 7 - 30 W - hibridni pojačavači snage

Električna šema pojačavača snage sa ovim kolima data je na slici 4.128, a podaci o naponu napajanja i izlaznoj snazi su u tabeli na slici 4.129.

Kola iz ove serije se napajaju iz asimetričnog ispravljača, što, kao što je već napomenuto u prethodnom tekstu, ima neke prednosti, ali i nedostatke, u odnosu na napajanje iz simetričnog ispravljača. Prednosti su vrlo značajne kod pojačavača velikih snaga sa relativno velikim jednosmernim naponima napajanja.



Slika 4.128. Pojačavači snage sa kolima STK433 . . . STK443

	STK433	STK435	STK436	STK437	STK439	STK441	STK443
Napajanje - maksimalno - [V]	23	27	32	33	39	44	49
- preporučeno - [V]	20	24	27	30	35	40	44
Izlazna snaga (k=0,008 %)							
R_{zv}=8 - [W]	5	7	10	10	15	20	25
R_{zv}=4 - [W]	7	10	12	14	20	24	30

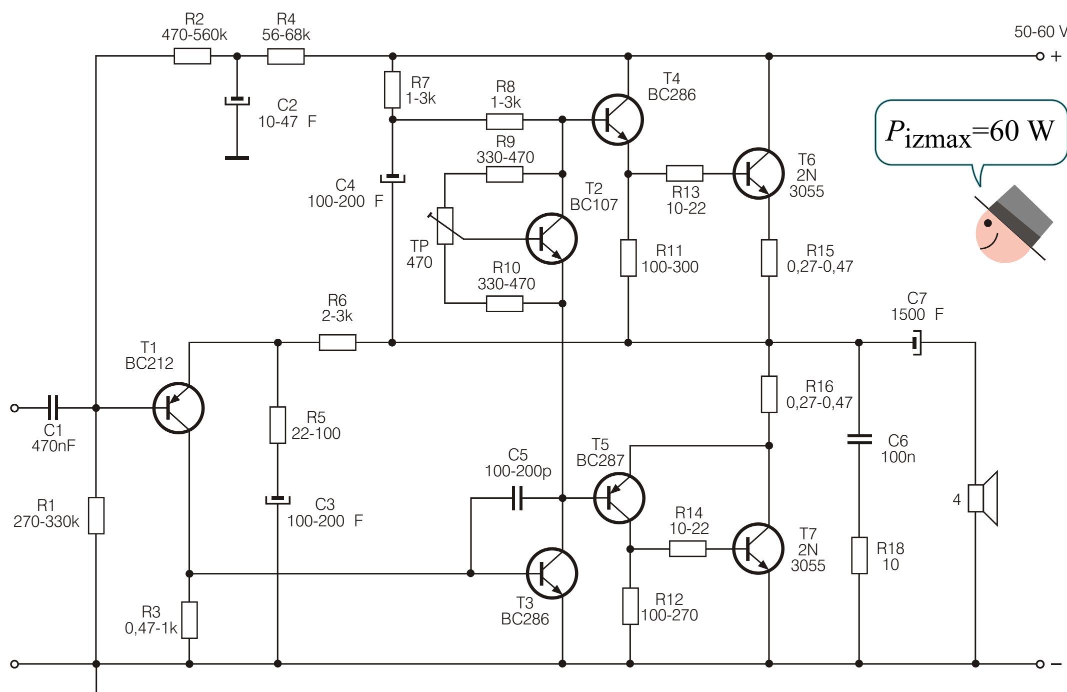
Slika 4.129. Podaci za pojačavače sa STK433 . . . STK443

4.3.32. Pojačavač snage sa 2x2N3055

Svi do sada opisani pojačavači snage su izvedeni u tehnici integrisanih kola. Pre nego što su se pojavila integrisana kola, pojačavači su izvođeni u diskretnoj tehnici, tj. sa tranzistorima, otpornicima, diodama itd. kao posebnim komponentama. Da li se danas, kada su na raspolaganju mnoga integrisana kola, isplati praviti pojačavač snage u diskretnoj tehnici? Pa, teško je odgovoriti. Možda, ali samo u slučaju audio-pojačavača izuzetno velikih snaga, namenjenih ozvučavanju vrlo velikih ili vrlo bučnih prostorija ili otvorenog prostora.

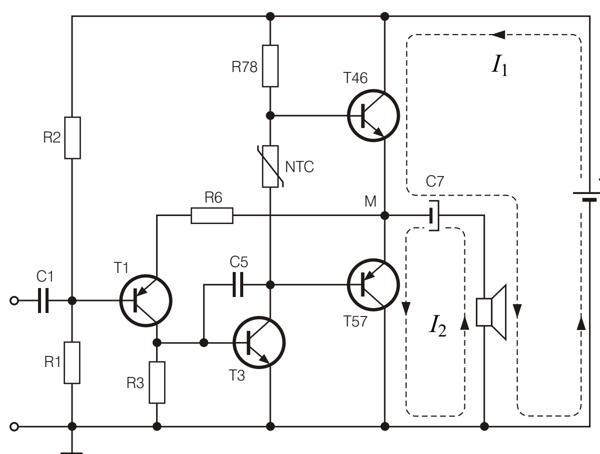
Bez obzira na prethodnu dilemu, autor ove knjige je odlučio da obradi i jednu šemu pojačavača snage sa bipolarnim tranzistorima, smatrajući: a) da je to korisno jer se i integrisani pojačavači snage izrađuju po sličnim šemama i b) da može da bude korisno pri popravkama starijih audio-pojačavača, koje još uvek čuvaju i koriste ljubitelji Hi-Fi uređaja.

Zahvaljujući svojoj velikoj snazi, kao i vremenu u kome se pojavio na tržištu, tranzistor 2N3055 svakako spada u najpoznatije tranzistore koji su ikada napravljeni. Koristio se, i još uvek se koristi, u mnogim elektronskim kolima, ali je svoju veliku popularnost stekao kao komponenta izlaznog stepena audio-pojačavača velikih (za to vreme) izlaznih snaga. Koristili su ga mnogi proizvifiači Hi-Fi uređaja, između ostalih i Ei-Niš koja ga je ugrađivala u svoj prvi stereofonski radioprijemnik HSR-48, a Radio klub "Nikola Tesla" iz Beograda je godinama prodavao u kit kompletu audio-pojačavač snage sa dva 2N3055 kao izlaznim tranzistorima.



Slika 4.130. Pojačavač snage sa dva 2N3055

Električna šema pojačavača snage sa tranzistorima 2N3055 prikazana je na slici 4.130. Može da se kaže da je to standardna šema po kojoj su izvođeni pojačavao snage sa komplementarnim izlaznim parovima tranzistora. U uprošćenom obliku, ova šema je prikazana na slici 4.131. To je, zapravo, šema prvih pojačavača snage koji su kao T46 i T57 koristili, nekada veoma popularne, komplementarne trnazistore AC187 i AC188. Signal koji se pojačava se, preko sprežnog kondenzatora C1, dovodi na bazu (između nje i mase) tranzistora T1. Pojačani signal se dobija na kolektoru (između njega i mase), odakle se vodi na bazu T3. Jednosmerna kolektorska struja prvog tranzistora je (pomoću otpornika R1 i R2) podešena na veličinu pri kojoj je pad napona na R3 približno jednak 0,7V. Pošto isti toliki jednosmerni napon treba da postoji i na bazi (između nje i mase) tranzistora T3, moguće je direktno povezati kolektor T1 i bazu T3. Kad bi napon na kolektoru T1 bio znatno veći od 0,7 V, ta direktna veza ne bi bila moguća. U tom slučaju, između kolektora T1 i baze T3 bi morao da se ubaci sprežni kondenzator, a jednosmerni napon od 0,7 V na bazi T3 bi morao da se



Slika 4.131. Uprošćena šema pojačavača sa slike 4.130

ostvari pomoću dva otpornika, na isti način kao što se pomoću R1 i R2 ostvaruje potrebni jednosmerni napon na bazi T1. Kao što se vidi, u ovom drugom slučaju su potrebne još tri komponente (dva otpornika i jedan kondenzator) s tim što je tada i frekvencijska karakteristika pojačavača pogoršana (zbog kondenzatora). Signal koji je doveden na bazu T3 dobija se pojačan na kolektoru. Ako zamislimo da je umesto NTC otpornika kratak spoj, tada pojačani signal postoji na bazama izlaznih tranzistora T46 i T57. To su komplementarni tranzistori. To znači da oni imaju iste karakteristike (isto pojačanje, iste ulazne i izlazne otpornosti itd.), s tim što je T46 tranzistor NPN, a T57 tranzistor PNP tipa. Prvi od njih provodi struju kada je napon na bazi veći od napona na emiteru, a drugi kada je napon na bazi manji od napona na emiteru. Jednosmerni napon u tački M, u kojoj su spojena oba emitera, je jednak polovini napona baterije za napajanje pojačavača. Isti toliki je i jednosmerni napon na kolektoru T3, odnosno na obe baze izlaznih tranzistora. Znači, jednosmerni napon između bilo koje baze i emitera izlaznih tranzistora (to je prednapon) je jednak nuli. Zbog toga kroz izlazne tranzistore ne teče nikakva struja. Kada se na bazama izlaznih tranzistora pojavi signal koji se pojačava, za vreme njegove pozitivne poluperiode provodiće gornji izlazni tranzistor (donji će biti zakočen), a za vreme negativne poluperiode provodiće donji (a gornji će biti zakočen). Kao što se vidi, tranzistori rade naizmenično (za vreme jedne poluperiode jedan, za vreme sledeće poluperiode - drugi), a njihove kolektorske struje (I_1 i I_2) teku kroz zvučnik u suprotnim smerovima. Jedna od njih pomera membranu zvučnika unapred, a druga unazad, kao što i treba da bude kada se reprodukuju pozitivna i negativna poluperioda nekog audio signala. Po tome je ovaj spoj dobio popularan naziv PUSH-PULL (puš-pul). Zapazite da za vreme poluperiode kada provodi T57, ulogu baterije igra kondenzator C7 koji je napunjen na napon jednak jednoj polovini napona baterije. Za to vreme on će, zahvaljujući svojoj vrlo velikoj kapacitivnosti, da se vrlo malo isprazni, a dopuniće se za vreme poluperiode kada provodi T46 (dopunjava ga struja I_1).

Na opisani način, tranzistori T46 i T57 rade u klasi B, što, jednostavno, znači da kroz njih ne teče struja kada nema ulaznog signala. U pogledu efikasnosti, to je dobra stvar. Ali, tada su izobličenja koja unose ovi tranzistori nedopustivo velika, pa se radna tačka pomera u tzv. međuklasu AB, što znači da se kroz tranzistore propušta relativno mala jednosmerna struja koja teče i kada nema pobudnog signala. To je, zajedno sa jednosmernim strujama T1 i T3, ranije pominjana mirna struja pojačavača snage. Pomeranje radne tačke iz klase B u međuklasu AB na slici 4.131 je ostvareno ubacivanjem NTC otpornika između baza izlaznih tranzistora. Kroz ovaj otpornik teče jednosmerna kolektorska struja tranzistora T3, i stvara na njemu pad napona od 1,4 V, tako da je jednosmerni napon na bazi T46 za 0,7 V veći, a jednosmerni napon na bazi T57 za 0,7 V manji od napona u tački M. NTC se montira što bliže hladnjaku na koji su montirani T46 i T57 (često se montira direktno na hladnjak), tako da "prati" temperaturu hladnjaka. Pri porastu temperature hladnjaka (zbog povećanja struje izlaznih tranzistora), otpornost NTC-a se smanjuje, smanjuje se i pad napona na njemu, pa se smanjuje i prednapon izlaznih tranzistora, što dovodi do vraćanja struje na definisanu veličinu. Slična stvar se dešava i pri smanjenju temperature hladnjaka. Sve u svemu, pomoću NTC otpornika se ostvaruje temperaturna stabilizacija radnih tačaka izlaznih tranzistora.

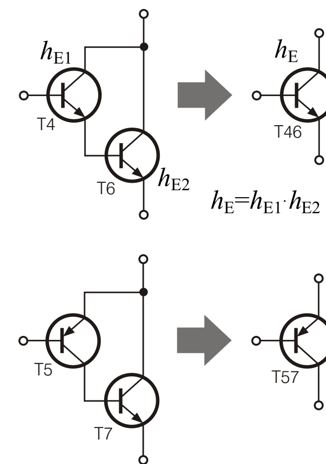
Umesto NTC-a, moguće je koristiti dve redno vezane diode (silicijumske, ako su takvi i izlazni tranzistori, ili germanijumske, ako su takvi i izlazni tranzistori). Na slici 4.130, ulogu NTC otpornika igra tranzistor T2, zajedno sa TP, R9 i R10.

Pored temperaturne stabilizacije, u pojačavaču na slici 4.131 je izvedena i stabilizacija jednosmernog napona u tački M. To je ostvareno tako što desni kraj otpornika R6 nije vezan za pozitivan kraj ispravljača (kao što treba da bude kod PNP tranzistora), već za tačku M. Jednosmerni napon u ovoj tački, kao što je već rečeno, treba da bude jednak polovini napona baterije. Bez stabilizacije, tokom rada pojačavača, ovaj napon se menja, što dovodi do pojave izobličenja. Vezivanjem otpornika R6, kao na slici, ostvarena je tzv. negativna reakcija za jednosmernu struju. Ako napon u tački M počne da se smanjuje, smanjuje se i napon na emiteru T1. To dovodi do povećanja prednapona tog tranzistora, pa se njegova kolektorska struja i jednosmerni napon na otporniku R3 smanjuju. Napon na R3 je prednapon T3, znači smanjuje se i struja kroz T3. Manja struja kroz T3 znači i manji pad napona na R78 i NTC, pa napon na kolektoru T3 raste. Znači i napon na bazama izlaznih tranzistora raste, što dovodi do porasta napona na njihovim emiterima, tj. do porasta napona u tački M. Zapazite, počeli smo od toga da se napon u ovoj tački smanjuje, a završili time da se on povećava. Sve u svemu, on ostaje nepromenjen. Na sličan način, ako napon u tački M počne da se povećava, kolo će reagovati tako da spreči to povećanje. Tako radi negativna

reakcija, ona sprečava promene u kolu. U našem slučaju, ona sprečava promene jednosmernog napona u tački M, čime se ostvaruje stabilan rad pojačavača.

Reakcija o kojoj je bilo reči je *negativna reakcija za jednosmernu struju.* Ali, preko otpornika R6 se na emiter T1 vraća i deo izlaznog signala (deo signala koji se, preko C7, vodi na zvučnik). Time je ostvarena *negativna reakcija za naizmeničnu struju.* Ova reakcija smanjuje pojačanje pojačavača, ali se ipak redovno koristi jer mu istovremeno smanjuje i izobličenja (onoliko puta koliko je smanjila pojačanje), proširuje propusni opseg itd. Ubacivanjem R5 i C3 postignuto je da je reakcija sve manja ukoliko je učestanost signala koji se pojačava viša, što dovodi do povećanja pojačanja u oblasti visokih učestanosti. (Na taj način se ističu tonovi visokih učestanosti.)

Na slici 4.130, umesto T46 i T57 sa slike 4.131, su tranzistori T4 i T6, odnosno T5 i T7. Prva dva su u tzv. Darlingtonovom, a druga dva u kvazi Darlingtonovom spoju. Na gornjem delu slike 4.132 su prikazana dva tranzistora u Darlingtonovom spoju, a u donjem u kvazi Darlingtonovom spoju. Kao što se vidi, dva NPN tranzistora u Darlingtonovom spoju se ponašaju kao jedan tranzistor, čiji je koeficijent strujnog pojačanja jednak proizvodu koeficijenata ona dva tranzistora. Na primer, ako je $h_{FE1} = 90$ i $h_{FE2} = 30$, tada je koeficijent strujnog pojačanja ekvivalentnog tranzistora h_{FE}=90x30= 2700. Ista stvar je i sa tranzistorima sa donjeg dela slike 4.132, s tom razlikom da je ekvivalentni tranzistor PNP tipa. (Tip ekvivalentnog tranzistora, i u Darlingtonovom i u kvazi Darlingtonovom spoju, određuje prvi tranzistor).



Slika 4.132. Tranzistori u Darlingtonovom (gore) i kvazi Darlingtonovom (dole) spoju

Kondenzator C6 i otpornik R17 obrazuju tzv. Zobelovo kolo, o kome je već bilo reči u prethodnim projektima.

Otpornici R2 i R4 i kondenzator C2 obrazuju NF filter koji sprečava da se deo izlaznog signala vrati na ulaz pojačavača, preko pozitivnog voda za napajanje.

I na kraju, pitanje sa početka: praviti ili ne praviti ovaj pojačavač snage? Odgovor je potvrdan, pod uslovom da već posedujete sve komponente sa šeme. U protivnom, odgovor je odrečan, jer postoje bolja (savremenija) rešenja. Ako se vi, ipak, upustite u avanturu, proučite i sledeće projekte, u kojima je opisana izrada štampane ploče, hladnjaka itd. nekoliko savremenijih pojačavača snage u diskretnoj tehnici.

4.3.33. Pojačavač snage sa MOSFET tranzistorima

Istorija elektronike je počela 1906. godine, kada je američki pronalazač Li de Forest konstruisao prvu elektronsku cev koja je mogla da se upotrebi kao aktivna, pojačavačka komponenta raznih, pa i audio, pojačavača. To je bila trioda koja bi, uz malo pesničke slobode, mogla da se nazove starijom sestrom FET-a. Ubrzo su konstruisane i tetroda, pentoda, heksoda itd. i ljudima su postale dostupne, u svoje vreme čudesne, stvari kao što su radio-prijemnici, magnetofoni, TV prijemnici itd. Prva revolucija u elektronici počela je 1948. godine kada su Amerikanci Berdin i Bretejn pronašli tranzistor. Svima koji su se bavili elektronikom je bilo jasno da će uređaji sa elektronskim cevima uskoro da nađu svoje mesto u muzejima tehničkih dostignuća. To se i desilo, ali i dan-danas, posle tolikih godina, postoje audiofili, u njih spada i autor ovog teksta, koji tvrde da u zvuku cevnih pojačavača ima neke lepote koju ne poseduju ni najbolji uređaji sa tranzistorima ili integrisanim kolima. Da li je u pitanju nostalgija, ljubav prema starinskim uređajima ili nešto treće, ili cevni pojačavači stvarno bolje rade, to je pitanje na koje autor ovih redova odgovor prepušta čitaocima, sa napomenom da i danas postoje proizvođači (i kupci, naravno) cevnih audio-pojačavača. Pri koncipiranju časopisa "Praktična ELEKTRONIKA 4", padala nam je na pamet ideja da obradimo i jedan jednostavan audio-pojačavač sa elektronskim cevima. Autor je imao na umu svoj prvi stereofonski audio pojačavač sa dve ECC81 i dve EL84, koji je imao prekrasan zvuk. Odustali smo, ali, ipak, ne u potpunosti. U ovom projektu opisan je pojačavač snage sa MOSFET tranzistorima, koji su po načinu rada i karakteristikama, mnogo bliži elektronskim cevima nego bipolarni tranzistori. Na taj način dobićete tranzistorski audio-pojačavač čiji zvuk ima ono "nešto" što poseduju samo cevni pojačavači.

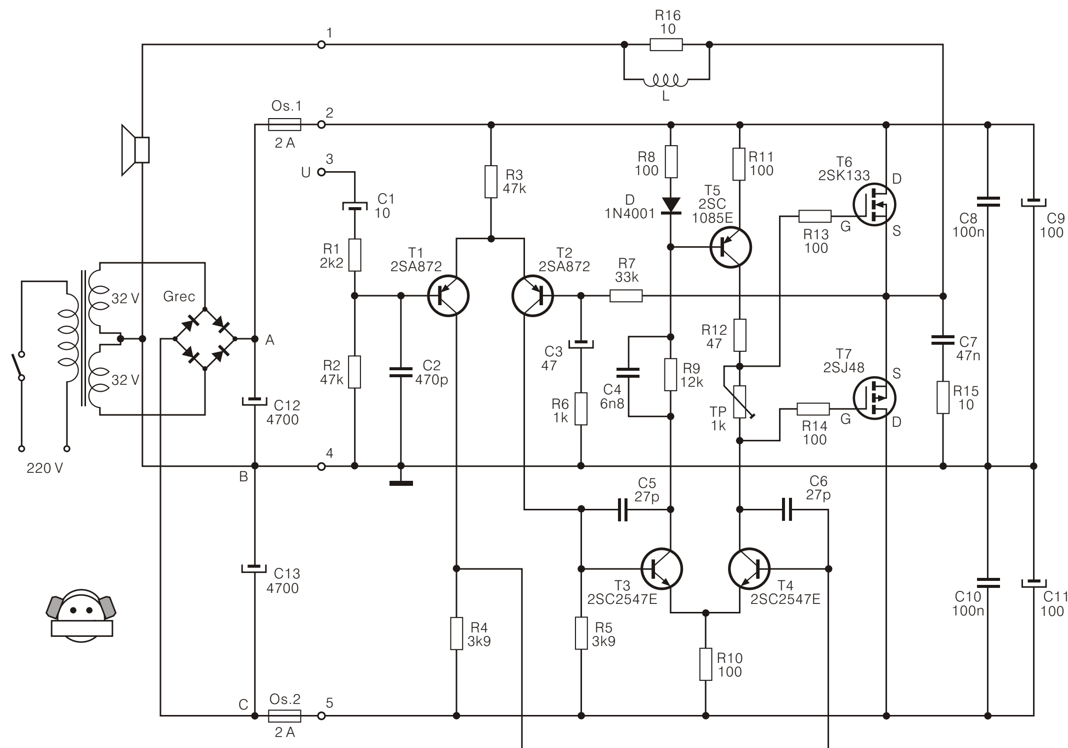
Otpornost običnih otpornika se povećava pri povećanju njihove temperature, pa se za njih kaže da imaju pozitivan temperaturni koeficijent. Obični bipolarni tranzistori imaju negativan temperaturni koeficijent, što znači da se otpornost materijala (poluprovodnika) od koga su napravljeni smanjuje pri povećanju njihove temeprature, što može da dovede do njihovog pregrevanja i uništenja. Zbog toga se u svim kolima sa bipolarnim tranzistorima vrši stabilizacija radne tačke tranzistora (primenom negativne reakcije za jednosmernu

struju, čiji ste jedan primer videli u prethodnom projektu). MOSFET-ovi, međutim, imaju pozitivan temperaturni koeficijent, pri zagrevanju njihova otpornost (između sorsa i drejna) se povećava. Usled toga, smanjuje se struja I_{SD} (struja kroz MOSFET, od sorsa ka drejnu), pa se i zagrevanje smanjuje, tako da MOSFET ne može da bude uništen pregrevanjem. (Pazite, to ne znači da je MOSFET neuništiv. Uništićete ga ako na njegove priključke dovedete jednosmerni napon koji je veći od maksimalnog napona koji on može da izdrži, ili kroz njega propustite struju koja je veća od maksimalne dozvoljene veličine itd.)

Električna šema pojačavača snage izlazne snage 70 W sa dva MOSFET-a na izlazu prikazana je na slici 4.133. Tranzistori T1 i T2 obrazuju diferencijalni pojačavač. Upotrebljeni su tranzistori 2SA872 koji imaju vrlo mali šum, a izdržavaju veliki jednosmerni napon U_{CE}. Mirna (jednosmerna) struja kroz svaki od ovih tranzistora je oko 0,5 mA. Signal koji se pojačava se dovodi na bazu T1, a pojačani signal se dobija na kolektoru (na otporniku R4), odakle se vodi na drugi diferencijalni pojačavač sa T3 i T4. Na drugi ulaz prvog diferencijalnog pojačavača (na bazu T2) se, preko R7, dovodi deo izlaznog signala (deo signala sa zvučnika). Time se ostvaruje negativna reakcija za naizmeničnu struju, pa je pojačanje pojačavača dato izrazom

$$A = (R7+R6)/R6,$$

što je sa vrednostima kao na slici $A = 34$, odnosno $A = 31$ dB.



Slika 4.133. Pojačavač snage sa MOSFET tranzistorima

Tranzistor T5, zajedno sa diodom i otpornicima R8 i R11, je malošumni izvor konstantne struje. On i otpornik R12 i trimer TP predstavljaju kolektorsko opterećenje tranzistora T4, na kome se dobija pojačani signal koji se, preko R13 i R14, vodi na gejtove izlaznih tranzistora T6 i T7.

Za vreme pozitivne poluperiode signala na gejtovima T6 provodi a T7 je zakočen. Tada struja teče od tačke A , kroz Os.1, T6 (od D ka S), kalem L i zvučnik, do tačke B. Za vreme negativne poluperiode signala T7 provodi a T6 jezakočen. Tada struja teče od tačke B, kroz zvučnik, kalem L, T7 (od S ka D) i Os.2 do tačke C. Mirna struja izlaznih tranzistora je 50 mA.

Reaktivna otpornost zvučnika prouzrokuje nestabilan rad na višim učestanostima, što se kompenzuje otpornikom R16 i kalemom L, i otpornikom R15 i kondenzatorom C7.

Mrežni deo pojačavača se sastoji od mrežnog transformatora T, mostnog usmerača (Grec), kondenzatora C12 i C13, i topljivih osigurača Os.1 i Os.2. Jednosmerni napon ispravljača je ±44 V. Naizmenični napon na sekundaru transformatora treba da je 2x32 V, a struja sekundara treba da je 2 A. Snaga transformatora treba da je P= 2x32x2 VA = 128 VA, ali je bolje da ona bude veća, recimo P = 160 VA.

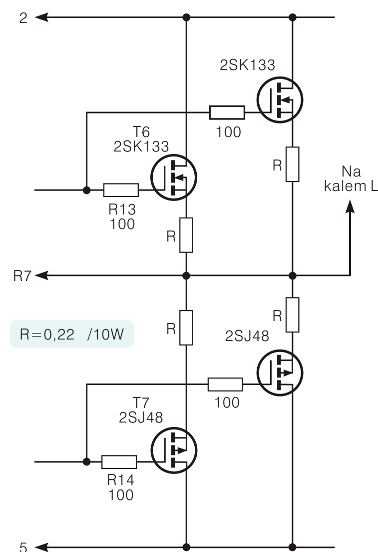
Ispravljač, zajedno sa osiguračima, se pravi kao poseban sklop koji se sa tri debele bakarne žice povezuje sa pinovima 2, 4 i 5. Zvučnik se dvema žicama spaja sa pinovima 1 i 4, ali je bolje da se spoji sa pinom 1 i tačkom u kojoj su zalemljeni donji kraj C12 i gornji kraj C13.

Ako se prave dva pojačavača (za stereofonski uređaj), struja sekundara i snaga transformatora treba da su dva puta veće.

Osnovni tehnički podaci o pojačavaču su dati u tabeli na slici 4.134. Zapazite izuzetnu frekvencijsku karakteristiku, u opsegu od 20 Hz do 20 kHz pojačanje je konstantno.

Napon napajanja	±44 V/2 A
Izlazna snaga	>75 W, sin, na 4
Impulsna izlazna snaga	>300 W
Propusni opseg	20 Hz -20 kHz, 0 dB
Osetljivost	0,65 V
Ulazna impedansa	47 k
Klir faktor	<0,01 (20 Hz - 20 kHz)
S/N (Signal/Šum)	120 dB

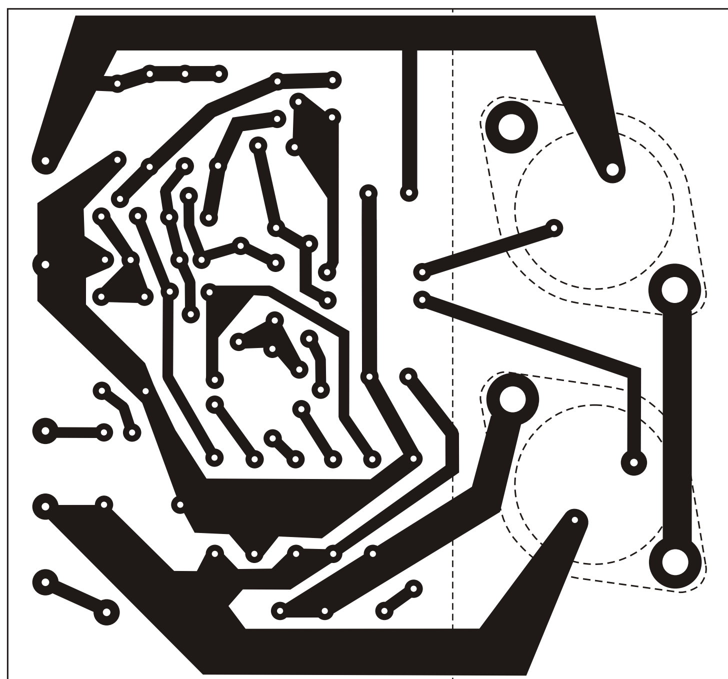
Slika 4.134. Osnovne karakteristike pojačavača snage sa slike 4.133

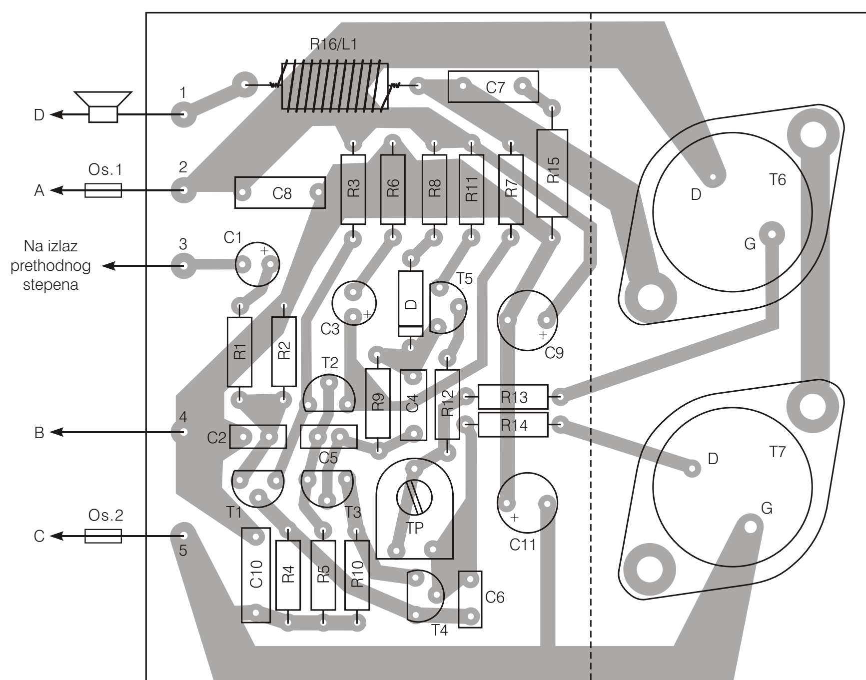


Slika 4.135. Paralelno povezivanje MOSFET-ova

Veća izlazna snaga može da se ostvari paralelnim vezivanjem izlaznih tranzistora, kao što je prikazano na slici 4.135. Da bi se sprečilo oscilovanje, otpornici označeni sa R moraju da budu zalemljeni direktno na nožice tranzistora, a vodovi koji idu ka pločici moraju da budu što kraći. Struja ispravljača treba da je 4 A. Maksimalna izlazna snaga (pri ulaznom signalu od 1V) je 125W.

Na slici 4.136 je prikazan izgled štampane pločice pojačavača sa slike 4.133, gore je pogled na stranu štampe, a dole na stranu komponenata. U stopice obeležene brojevima 1, 2, 3, 4 i 5 su zalemljene nožice (pinovi) na koje se leme žice kojima se pločica spaja sa ispravljačem, zvučnikom itd. Ovi pinovi mogu





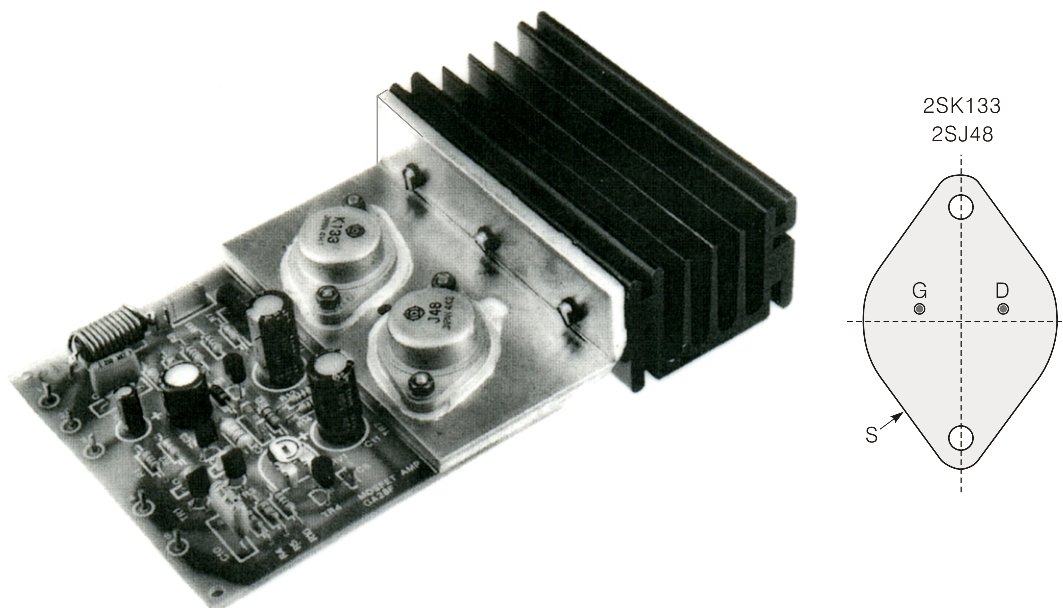
Slika 4.136. Štampana pločica pojačavača sa slike 4.133

da se kupe kao i sve druge komponente ali mogu i da se naprave od bakarne žice prečnika oko 1 mm. Sigurnije rešenje je da se pinovi ne korite već da se krajevi žica leme direktno na stopice.

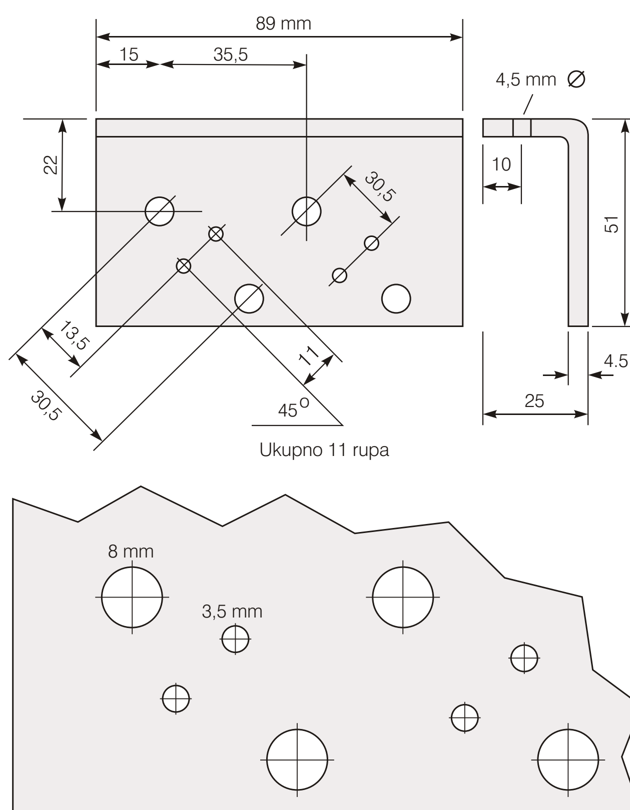
Fotografija pojačavača sa slike 4.133 je na slici 4.137.

Ugaonik, na koji se montiraju izlazni tranzistori i hladnjak, je napravljen od aluminijumske ploče dimenzija 89 mm x 76 mm, debljine 4,5 mm. Na gornjem delu slike 4.138 su date dve projekcije ugaonika sa rasporedom rupa koje na njemu treba izbušiti. To je umanjena slika ugaonika.

Na donjem delu slike je raspored rupa u razmeri 1:1. Preko ove slike treba staviti poluprovidnu hartiju i olovkom prekopirati centre svih rupa. Zatim tu hartiju staviti na aluminijumsku ploču, podesiti da se donja i leva ivica slike i ploče poklapaju, vrhom šila ubosti u centre svih rupa i izbušiti rupe.

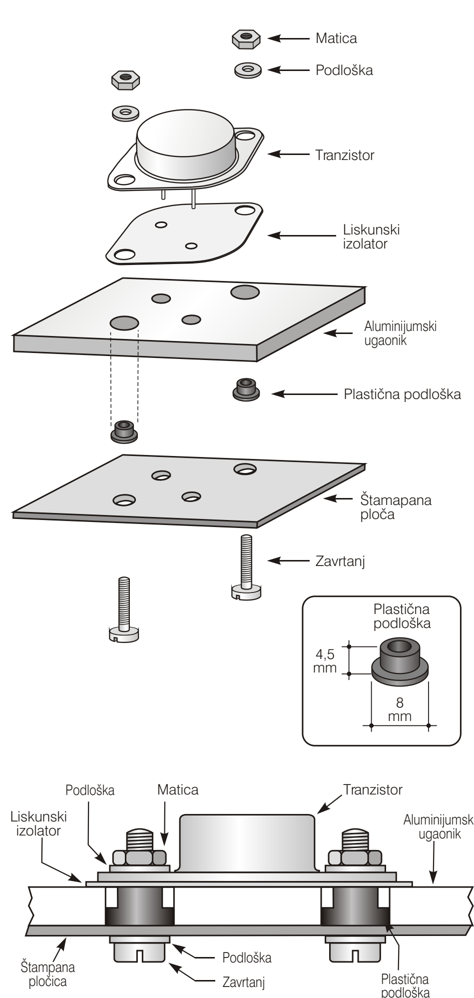


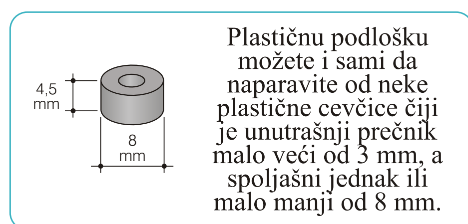
Slika 4.137. Fotografija pojačavača sa slike 4.133



Slika 4.138. Aluminijumski ugaonik sa slike 4.137

Električna izolacija između kućišta izlaznih tranzistora 2SK133 i 2SJ48 i aluminijumskog ugaonika se ostvaruje tako što se između njih ubacuju liskunski izolatori koji imaju isti oblik kao podnožje tranzistora koje je prikazano na gornjem delu slike 4.138. Montaža tranzistora je prikazana na slici 4.139. Na štampanu pločicu se prvo stavi





Slika 4.139. Montaža MOSFET-a

4,5 mm
8 mm

Plastičnu podlošku možete i sami da naparavite od neke plastične cevčice čiji je unutrašnji prečnik malo veći od 3 mm, a spoljašni jednak ili malo manji od 8 mm.



aluminijumski ugaonik, a u rupe od 8 mm se postave plastične podloške, koje treba da spreče spoj preko zavrtnjeva. Zatim se stavi liskunski izolator koji je sa obe strane premazan tankim slojem silikonske paste (bele boje) koja provodi toplotu, pa tranzistor čije se nožice proture kroz rupe na ugaoniku i štampanoj ploči. Zatim se proture zavrtnji, stave podmetači i stegnu matice. Tranzistor treba da stoji kao na crtežu u donjem delu slike 4.139, na kome su aluminijumska ploča i plastični podmetači prikazani u preseku.

Kada se uverite da su oba tranzistora na svojim mestima, zalemite nožice (G i D) za stopice kroz koje ste ih proturili.

Uverite se da nema pomenute galvanske veze. Uzmite Om-metar i na najvećem mernom opsegu proverite da li je otpornost između aluminijumska ploče i kućišta oba tranzistora beskonačno velika. (Ako proveru vrši na gotovom uređaju, onda prvo otkačite zvučnik i izvadite oba osigurača.)

Podešavanje i puštanje u rad

Ako to već niste učinili, izvadite osigurače iz njihovih ležišta. Time ste pojačavač odvojili od ispravljača. Uključite uređaj i izmerite jednosmerni napon na kondenzatorima C12 i C13, on mora da bude u granicama od 40 V do 50 V, recimo 45 V. Isključite uređaj iz mreže i, pomoću otpornika od 1 k , ispraznite C12 i C13. Između lemnih tačaka sa kojima su spojene nožice kućišta u koja su smešteni osigurači zalemite po jedan otpornik 100 /5W, tako da sada umesto osigurača imate otpornike. Klizač trimera TP stavite u krajnji desni položaj (okrenuti ga do kraja u smeru kretanja kazaljke na satu.) Uključite uređaj i vrhom prsta proverite temperaturu otpornika. Ako se ne greju, sve bi trebalo da je u redu. Isključite uređaj, stavite osigurače u njihova kućišta i ponovo uključite uređaj. Ako jedan od osigurača pregori ili se bilo koja komponenta previše zagreva (to proveravate vrhom prsta, kao što je objašnjeno u P.E. 2), odmah ISKLJUČITE uređaj i pokušajte da pronađete grešku, o čemu će kasnije biti više reči.

Ako je sve u redu, proverite, pomoću univerzalnog instrumenta sa preklopnikom u položaju za merenje jednosmernog napona, napon između priključaka 1 i 4, on ne sme da bude veći od ± 0,1 V.

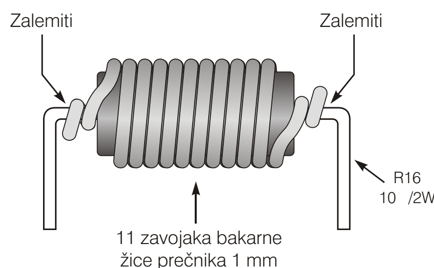
Sada ćemo da podesimo mirnu struju pojačavača. Isključite uređaj, skinite otpornike 100 /5W i stavite jedan osigurač u kućište, a umesto drugog osigurača priključite univerzalni instrument sa preklopnikom u položaju za merenje jednosmerne struje. Uključite uređaj i pažljivo okrećite klizač trimer potenciometra TP u smeru suprotnom smeru kretanja kazaljke na satu dok instrument ne pokaže struju od 50 mA. Posle oko desetak minuta proveriti da li je struja i dalje 50 mA i, ako je potrebno, podesite je na tu vrednost.

Na kraju, priključite zvučnik. Ali, pazite, kraj jedne od žica kojima se zvučnik spaja sa štampanom pločom treba spojiti sa nožicom broj 1, a kraj druge sa tačkom koja je što je moguće bliža tački sa kojom je spojen srednji izvod na sekundaru mrežnog transformatora (a ne sa nožicom 4). Najbolje je da kraj te druge žice spojite sa tačkom u kojoj su spojeni (zalemljeni) odgovarajući krajevi kondenzatora C12 i C13 (tačka B).

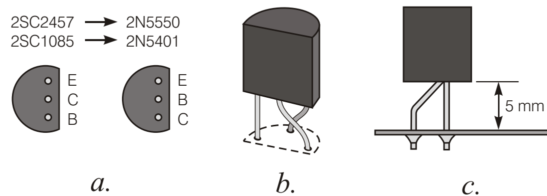
Napomene:

* Kalem L se, prema slici 4.140, mota preko otpornika R16, čija je otpornost 10 a snaga 2W. Koristi se bakarna, lakom izolovana žica prečnika oko 1 mm. Sa krajeva žice se oštrim nožem skine izolacija, ti delovi se kalajišu i nekoliko puta omotaju oko nožica otpornika i zaleme.

* Ako na ulaz pojačavača priključujete potenciometar za regulaciju jačine, njegova otpornost ne sme da bude manja od 47 k , a priključuje se između nožica 3 (klizač) i 4 (kraj



Slika 4.140. Kalem L namotan na otporniku R16



Slika 4.141. a - raspored nožica, b - zamena mesta B i C, c - montaža tranzistora

* Zamene tranzistora. Ovaj pojačavač je prilično star ali se "odlično drži za svoje godine". Zbog toga postoji mogućnost da neke od tranzistora ne možete da nabavite. Ali, kao i u slučaju većine drugih tranzistora, postoje zamene. Umesto 2SA872 može da se koristi 2SA1016, umesto 2SC2547E - 2N5550 i umesto 2SC1085E - 2N5401. Pri korišćenju zamena treba imati u vidu da 2N5550 i 2N5401 imaju drugačiji raspored nožica. Problem se sasvim lako rešava savijanjem nožica, tako da kolektor (C) i baza (B) zamene mesta.

* Kao i sve tranzistore male i srednje snage, T1, T2, T3 i T4 treba montirati tako da se njihova donja strana nalazi na oko 5 mm od štampane ploče.

Kada se uverite da pojačavač radi kako treba, glave zavrtnjeva kojima su fiksirani izlazni tranzistori treba zalemiti za bakarnu foliju ispod njih. Time se smanjuje tzv. prelazni otpor (otpor kontakta između zavrtnja i bakarne folije), koji tokom vremena može da se poveća usled oksidacije.

I, na kraju, evo i liste komponenata pojačavača.

LISTA KOMPONENATA

POLUPROVODNICI	
D1	1N4001
T1, T2	2SA872
T3, T4	2SC2547E/2N5550
T5	2SA1085E/2N5401
T6	2SK133/2SK134
T7	2SJ48/2S149
OTPORNICI, 1%,0,25 W, metaloslojni	
R1	2,2 k
R2, R3	47 k
R4, R5	3,9 k
R6	1 k
R7	33 k
R8, R10, R11	
R13, R14	100
R12	47

R9	12 k /0,5 W, ugljenoslojni
R15	10 /4 W, žičani
R16	10 /2 W, ugljeni
TP	1k , horizontalni
KONDEZATORI	
C1	1 F/100V
C2	470 pF, keramički
C3	47 F/63 V
C4	6,8 nF, polikarbonski
C5, C6	27 pF, keramički
C7	47 nF, keramički
C8, C10	100 nF, poliester
C9, C11	100 F/63 V

* Svi elektrolitski kondenzatori su za uspravnu montažu.

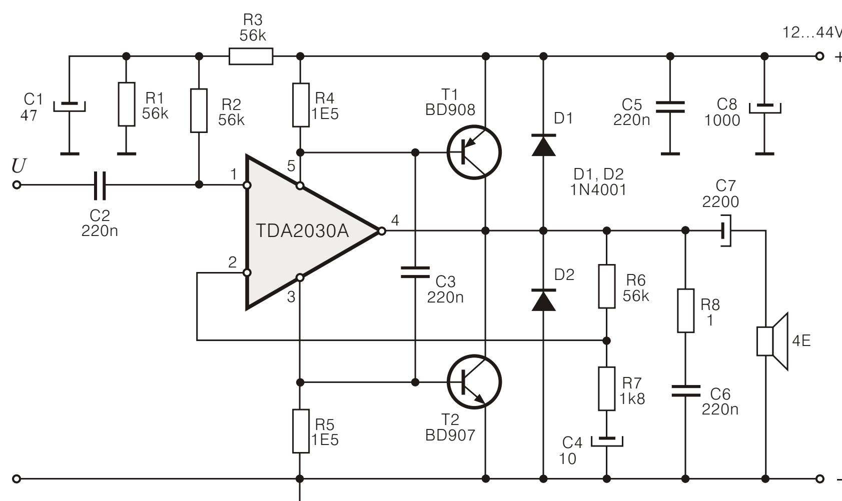
RAZNO
Štampana pločica, bakarna, lakom izolovana žica dužine 20 cm, prečnika oko 1 mm, 5 nožica (pinova), 4 plastične podloške, 2 liskunska izolatora TO3 i odgovarajući zavrtnji.

4.3.34. Pojačavač snage sa TDA2030+BD907/BD908 - 40 W

Integrisano kolo TDA2030 je jedno od kola kod kojih je ostvaren spoj između kvaliteta, kompaktnosti i niske cene. Pojačavač snage sa ovim kolom opisan je u projektu 4.3.6. Njegova maksimalna izlazna snaga je bila 14 W. Po skoro istoj šemi uz dodavanje još dva snažna tranzistora, može da se ostvari pojačavač čija je izlazna snaga skoro tri puta veća. Električna šema takvog pojačavača snage je prikazana na slici 4.142.

Signal koji se pojačava dovodi se, preko sprežnog kondenzatora C2, na neinvertujući ulaz kola tj. na nožicu 1. Za vreme pozitivne poluperiode signala koji se pojačava, izlazna struja integrisanog kola teče kroz R4, a za vreme negativne poluperiode kroz R5. Dok su padovi napona na R4 i R5 manji od 0,7 V tranzistori T1 i T2 su zakočeni i ne provode struju. To znači da sve dok izlazna snaga integrisanog kola nije veća od 2 W (na zvučniku od 4), T1 i T2 ne rade.

Kada struje kroz R4 i R5 postanu veće od oko 477 mA, padovi napona na otpornicima postaju veći od 0,7 V i tranzistori T1 i T2 provode struju: za vreme pozitivne



Slika 4.142. Pojačavač snage sa TDA2030 i tranzistorima BD908 i BD907

poluperiode T1, a za vreme negativne T2.

Pri malim ulaznim signalima nema mirne struje kroz T1 i T2, ali je ima kroz integrisano kolo, tako da su izbegnuta tzv. "crossover" izobličenja.

Temperaturnu stabilnost celog pojačavača obezbeđuje integrisano kolo jer je ono temperaturno stabilisano.

* Napon napajanja pojačavača je u granicama od 12 do 44 V.

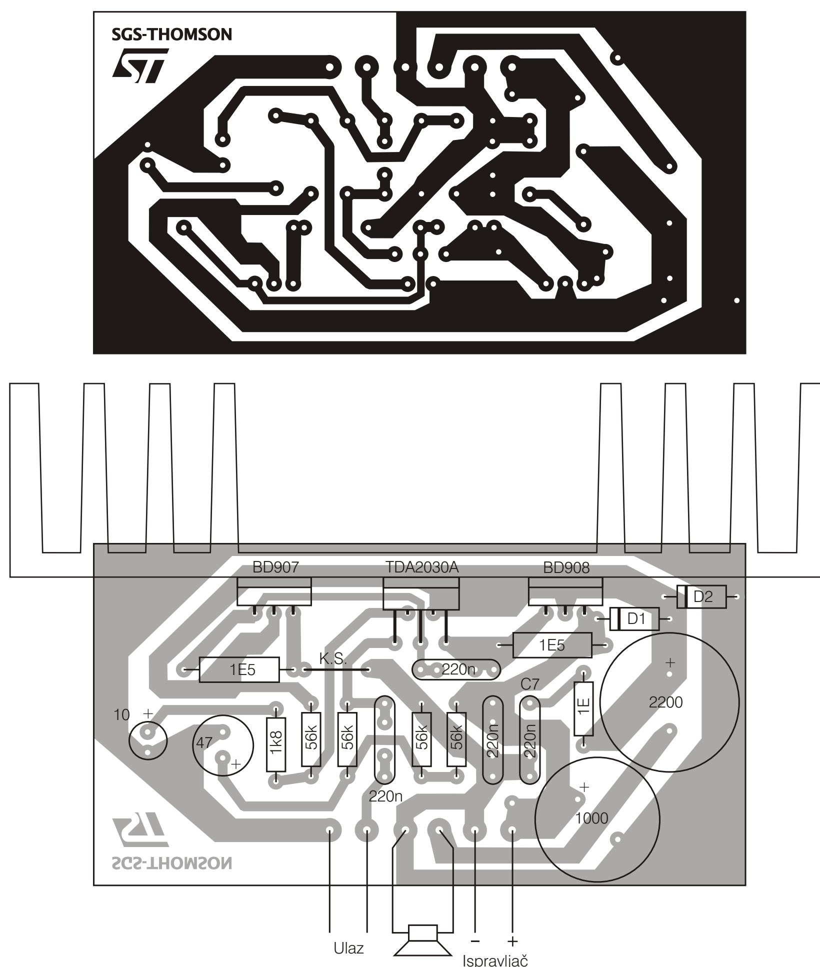
* Maksimalna izlazna snaga pri koe-ficijentu harmoničnih izobličenja k = 0,1% je 22 W sa zvučnikom od 8 , odnosno 40 W sa zvučnikom od 4 .

* Mirna struja je oko 40 mA.

* Koeficijent korisnog dejstva (efikasnost) je = 64%.

* Sa manjim otpornostima otpornika R4 i R5, T1 i T2 će se uključivati pri većim strujama odnosno pri većoj izlaznoj snazi integrisanog kola.

* Snaga R4 i R5 je 1W.

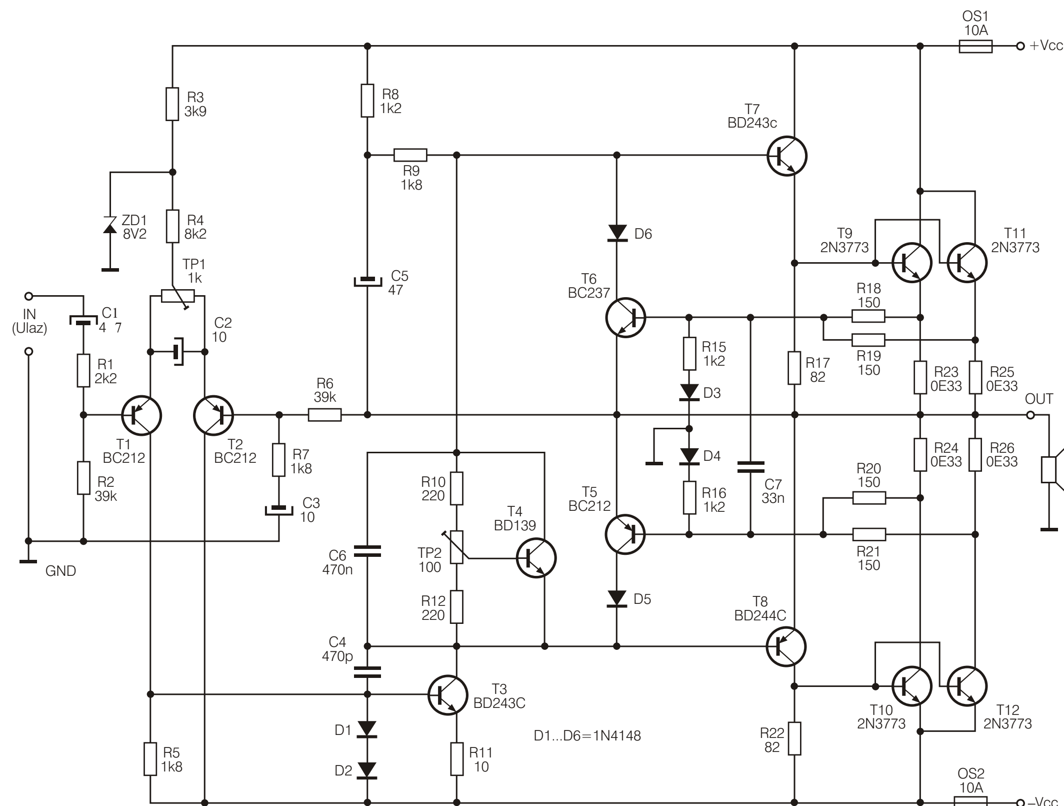


Slika 4.143. Štampana ploča pojačavača snage sa slike 4.142

4.3.35. Hi-Fi pojačavač snage 250 W

I ovo je jedan "Old-timer", iz vremena kada je velike izlazne snage bilo moguće ostvariti samo u diskretnoj tehnici. To je pojačavač snage izveden sa snažnim tranzistorima

2N3773, maksimalne izlazne snage 250 W. Električna šema je na slici 4.144. Tranzistori T1 i T2 su aktivne komponente diferencijalnog pojačavača, a T3 pogonskog stepena. T4 se montira na hladnjak na kome su i sva četiri izlazna tranzistora, tako da "prati" promenu temperature hladnjaka. Pri tim promenamama menja se njegova otpornost, što dovodi do odgovarajućih promena napona baze tranzistora T7, čime se ostvaruje stabilizacija mirne struje izlaznih tranzistora. T6 i T5 su aktivne komponente elektronskog kola za zaštitu



Slika 4.144. Pojačavač snage 250 W sa 4x2N3773

pojačavača od kratkog spoja na izlazu. T7, T9 i T11 su u Darlingtonovom, a T8, T10 i T12 u kvazi Darlingtonovom spoju, o kojima je već bilo reči u projektu 4.3.32.

Pomoću trimer potenciometra TP1 se koriguju razlike u koeficijentima strujnog pojačanja tranzistora T1 i T2, tako da jednosmerni napon između tačke u kojoj su spojeni R25 i R26 i mase bude što je moguće manji (nekoliko mV). To se radi tako što se između tačke koja je na štampanoj ploči obeležena sa OUT (Izlaz) i tačke koja je obeležena sa GND (Masa) priključi multimetar, sa preklopnikom u položaju za merenje jednosmernog napona. Klizač trimera TP1 se pažljivo pomera dok instrument ne pokaže što je moguće manji napon.

Pomoću trimera TP2 se podešava mirna struja pojačavača na veličinu od 60 mA do 80 mA. Ovo podešavanje se vrši tako što se jedan od osigurača izvadi i umesto njega priključi multimetar, sada sa preklopnikom u položaju za merenje jednosmerne struje. Klizač potenciometra TP2 se pažljivo pomera dok instrument ne pokaže da je struja u pomenutim granicama.

NAPOMENE:

* Pre prvog povezivanja pojačavača sa ispravljačem, proverite da jednosmerni napon na izlazu ispravljača nije veći od oko 50 V, a umesto osigurača stavite otpornike otpornosti oko 50 , snage 5 W. Njih ćete skinuti i vratiti osigurače tek pošto obavite pomenuta podešavanja pomoću TP1 i TP2.

* Ispravljač se pravi po šemi na slici 4.145. Snaga mrežnog transformatora je 350 W, a napon sekundara je 2 x 33 V. U slučaju stereofonskog pojačavača snaga transformatora je 750 W, a kapacitivnosti elektrolitskih kondenzatora su 10000 F/63 V. Osigurači su za 6,3 A, a za toliku, ili veću, struju treba da je i Grecov usmerač. Za stereo pojačavač to bi mogao da bude Grecov us-merač KBPC2502. U tom slučaju osigurači su za 10 A. Pozitivan kraj ispravljača se na štampanoj ploči spaja sa tačkom označenom sa +Vcc, negativan sa –Vcc, a nula sa GND.

* Zvučnik se, prema slici 4.147, priključuje između tačke OUT i tačke GND, ali je bolje ako se kraj koji ide u tačku GND zalemi u stopicu u kojoj su, na posebnoj štampanoj pločici, spojeni elektrolitski kondenzatori od 4700 F.

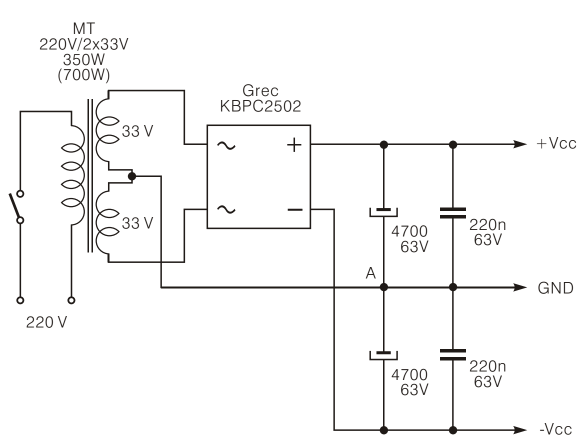
* Zvučnik se priključuje tek kada su obavljena ranije opisana podešavanja pomoću TP1 i TP2.

* Štampana ploča je prikazana na slikama 4.146 i 4.147.

* Na slici 4.147 je nekoliko kratkospojnika koji su prikazani debljim linijama.

* Kroz četiri rupice iznad i ispod osigurača OS1 i OS2 se provlače nožice nosača osigurača.

* Hladnjak za T9, T10, T11 i T12 se montira pomoću aluminijumskog ugaonika, na isti kao hladnjak pojačavača sa MOSFET-ima na slici 4.137. Horizontalan deo ugaonika (istog oblika, ali većih dimenzija kao ugaonik na slici 4.137) se stavlja na štampanu ploču, a na njegovu gornju stranu se montiraju T9, T10, T11 i T12. U sredini se montira T4. Naravno, između tranzistora i aluminijumske ploče su liskunski izolatori premazani sa obe strane silikonskom pastom, a koriste se i izolacione plastčne pološke (kao na slici 4.139).

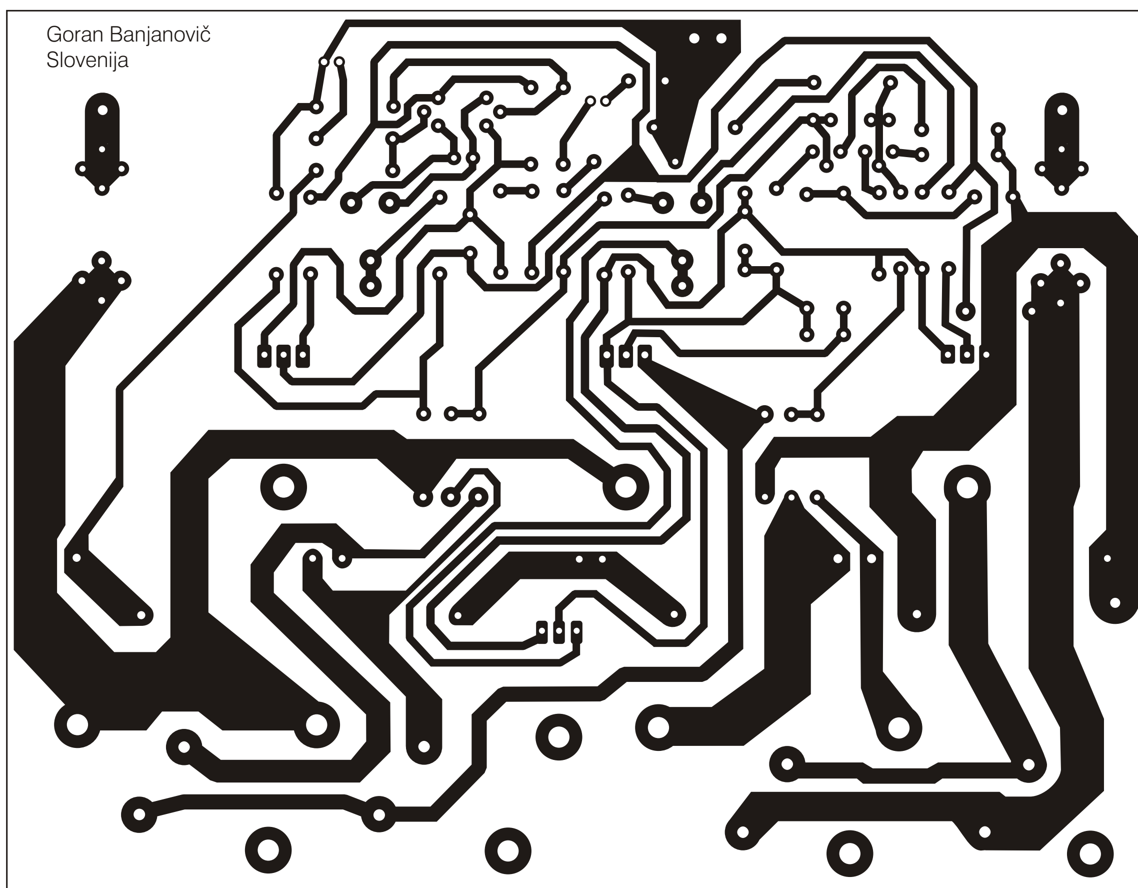


Slika 4.145. Simetrični ispravljač

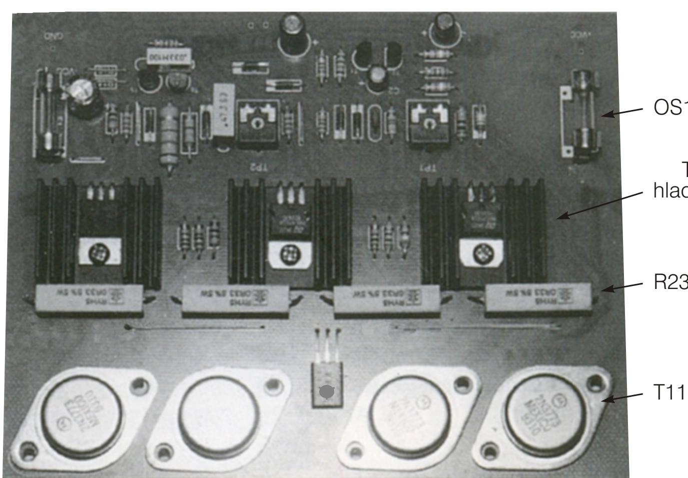
*Tranzistori T3, T7 i T8 su montirani na posebnim malim hladnjacima, kao što se vidi na fotografiji na slici 4.148.

* Otpornici R13 i R14 ne postoje, umesto njih su kratkospojnici.

* Pojačanje pojačavača je dato izrazom A=(R6+R7)/R7, što sa vrednostima kao na slici iznosi A=23, odnosno A=27 dB. To je nešto malo manje od tipične vrednosti pojačanja za pojačavače snage. Pojačanje može da se poveća promenom otpornosti R6 i/ili R7, ali treba biti vrlo oprezan jer to može da dovede do oscilovanja pojačavača.



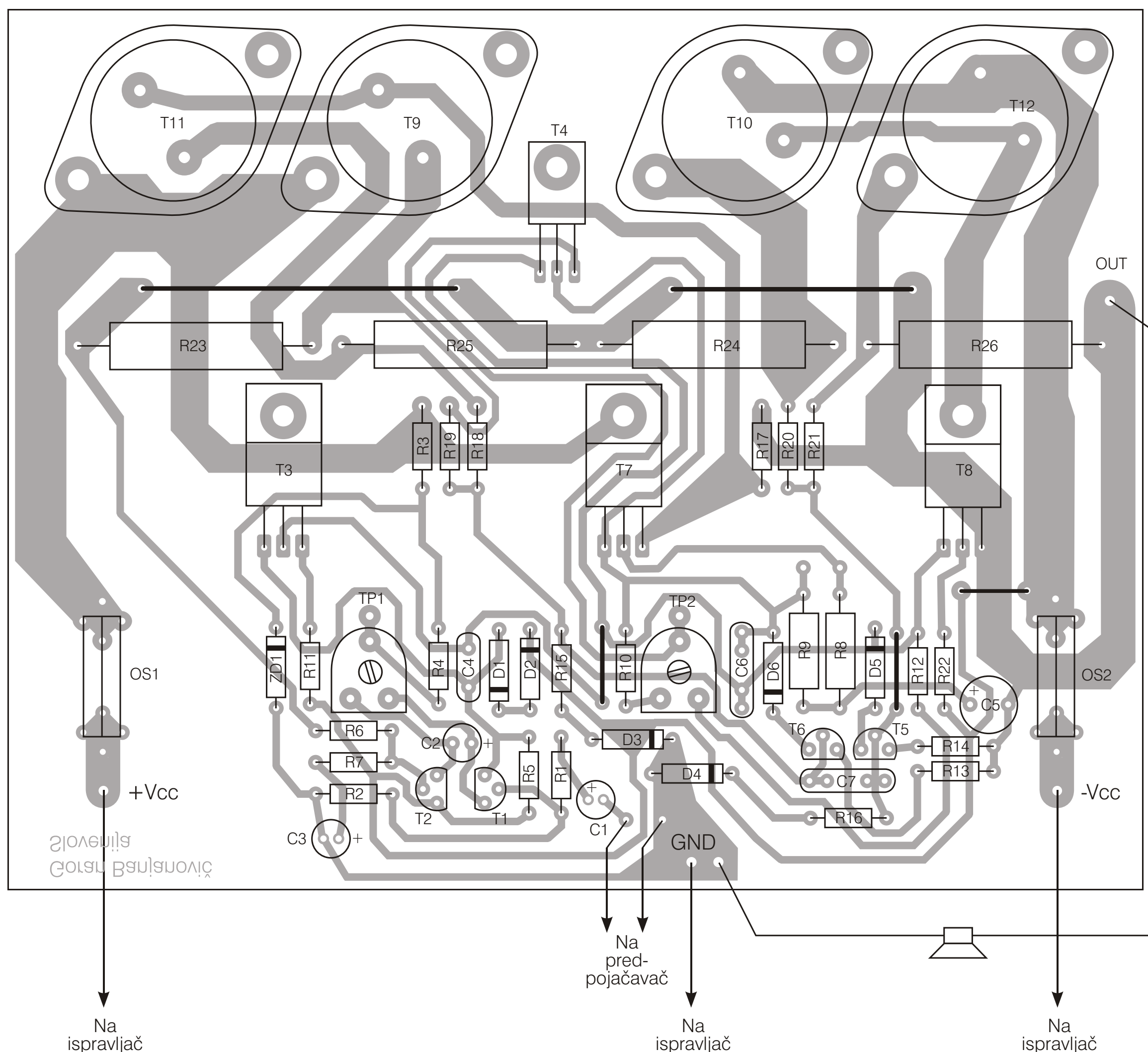
Slika 4.146. Štampana ploča pojačavača sa slike 4.144 - pogled na stranu lemljenja



Na fotografiji nema aluminijumskog ugaonika i hladnjaka.Tranzistori T9, T10, T11 i T12 su na svojim mestima, ali nisu ni fiksirani ni zalemljeni. Njih treba montirari kao što su montirani FET-ovi na slici 4.137



Slika 4.148. Fotografija štampane pločice sa komponentama pojačavača sa slike 4.144



Slika 4.147. Štampana ploča pojačavača sa slike 4.144 - pogled na stranu komponenenata

LISTA KOMPONENATA POJAČAVAČA

POLUPROVODNICI

D1...D6	1N4148
ZD1	Zener dioda; 8,2 V/0,25W
T1, T2, T5	BC212 (BC308)
T3, T7	BD243C
T4	BD139
T6	BC182
T8	BD244C
T9...T12	2N3773

OTPORNICI

R1	2,2 k /0,25 W
R2, R6	39 k /0,25W
R3	3,9 k /0,25W
R4	8,2 k /0,25W
R5, R7	1,8 k /0,25W
R8	1,2 k /1W
R9	1,8 k /0,5W
R10, R12	220 /0,25W
R11	10 /0,25W
R13, R14	K.S. - kratkospojnici
R15, R16	1,2 k /0,25 W
R17, R22	82 /0,25 W
R18...R21	150 /0,25 W
R23...R24	0,33 /5W
TP1	1 k , horizontalni
TP2	100 , horizontalni

KONDEZATORI

C1	4,7 F, ELKO
C2, C3	10 F, ELKO
C4	47...100 pF, keramički
C5	47 F/63 V, ELKO
C6	470 nF
C7	33 nF

* Svi elektrolitski kondenzatori su za uspravnu montažu.

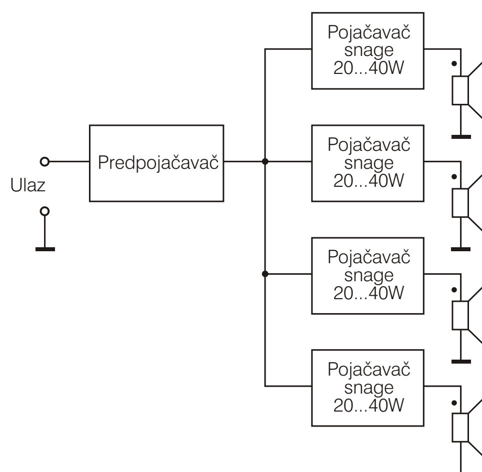
RAZNO

Štampana pločica, bakarna, lakom izolovana žica prečnika oko 1 mm za kratkospojnike i, osigurači i nosači osigurača, 8 plastičnih podloški, 4 liskunska izolatora TO3 i odgo-varajući zavrtnji, tri mini hladnjaka za T3, T7 i T8, aluminijumski ugaonik i hladnjak za T9...T12.

4.3.36. Velika snaga

Šesdesetih i sedamdesetih godina prošlog veka, u vreme Titove Jugoslavije, jedan od najpopularnijih audio'pojačavača među mnogobrojnim rokenrol muzičarima bio je legendarni "Maršal", pojačavač sa čuvenim izlaznim pentodama EL34. Jedan deo tih pojačavača su bili originali koje je proizveo njihov konstruktor Džimi Maršal. Ostali, a njih je, izgleda, bilo više od originala, su bili napravljeni u kućnoj radinosti, od domaćeg materijala. Neki od njih su bili tako vešto napravljene kopije da ih je bilo nemoguće razlikovati od originala. "Maršali" Miće Pacova iz "Amigosa" bili su, na crnom tržištu, čak i skuplji od originala, jer je Mića, verovali ili ne, davao doživotnu garanciju.

Da li original ili kopiju, nije važno, tek "Maršal" je koristila i čuvena rokenrol grupa "Zabranjeno pušenje". I, na jednom od njihovih nastupa desilo se da je nekoliko hiljada slušalaca uporno čekalo, a koncert nikako da počne. U neko doba, sa velikim zakašnjenjem, na bini, danas bi rekli na stejdžu, se pojavio pevač grupe Dr Nele Karajlić i, snuždenim glasom, rekao: "Dragi prijatelji, od svirke nema ništa, crko nam "Maršal". Svi prisutni su zanemeli jer su bili ubeđeni da je Nele rekao da je crko maršal. A jedini maršal u Jugoslaviji je bio maršal Tito. Postojala je čak i partizanska pesma "to je nama naša borba dala, da imamo Tita za maršala". Nele je primetio da nešto nije u redu, pa je objasnio da nije u pitanju maršal nego "Maršal" i publika se razišla. Ali, ubrzo je stigla milicija, to vam je današnja policija, i "Zabranjeno pušenje" je tu noć provelo u zatvoru, u kome je, inače, zabranjeno pušenje.



PAŽNJA!
Zvučnici na ovoj slici moraju da rade u fazi, što znači da njihove membrane moraju da se istovremeno kreću napred i istovremeno nazad, na šta ukazuju i tačke pored njih. Ovo, tzv. faziranje zvučnika je opisano u 7. glavi ove knjige

Slika 4.150. P=P1+P2+P3+P4



He, he. Nele i maršal Tito

Čemu ova priča u stručnoj knjizi, pitaju se neki čitaoci. Pa, prvo zato što je interesantna, a drugo da bude uvod u priču o tome kako se konstruišu pojačavači velikih snaga koji ne smeju da crknu. To se radi tako što se više pojačavača snage sa integrisanim kolima veže u paralelu, kao što je prikazano na slici 4.150. Ukupna snaga je jednaka zbiru snaga svih pojačavača. Pojačavač je mnogo pouzdaniji od samo jednog pojačavača iste ukupne snage jer je mala verovatnoća da se svi pojačavači istovremeno pokvare. Ako crkne jedan ostali nastavljaju da rade. Snaga je manja, ukupni efekat je nešto pogoršan ali, što kaže naš narod, bolje išta nego ništa. Pored toga, prednost je i u tome što se koriste zvučnici manjih snaga, koji se lakše nabavljaju a i jeftiniji su, svi zajedno, od jednog zvučnika vrlo velike snage.

4.3.37. Pojačavač bez zvučnih skretnica

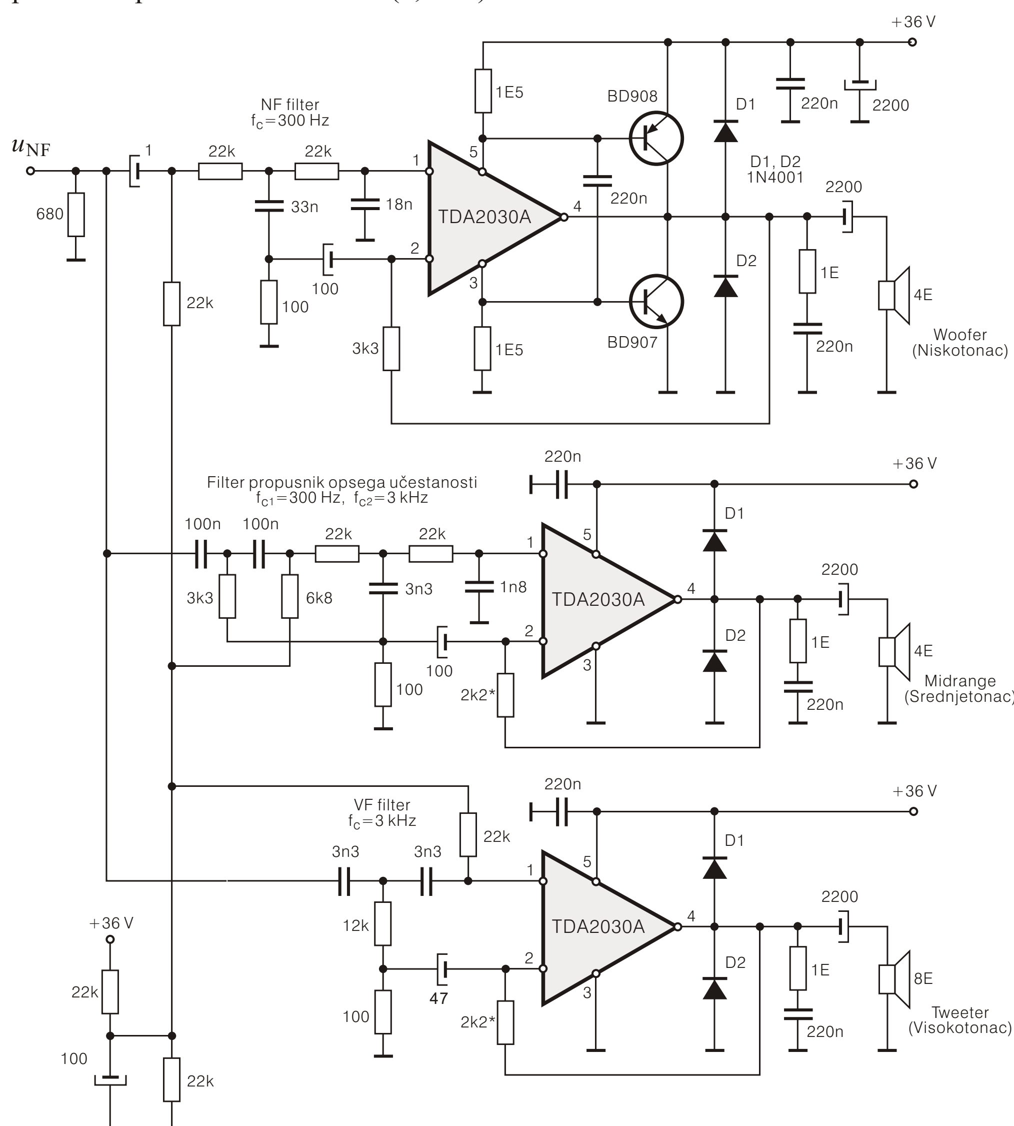
Vrlo kvalitetan audio-pojačavač ne znači mnogo ako na njega nisu priključeni isto tako kvalitetni zvučnici. Za vrlo kvalitetnu reprodukciju muzike je važno da frekvencijska karakteristika i pojačavača i zvučnika bude ravna u opsegu od 30 Hz do 15 kHz. Kod pojačavača, to se lako ostvaruje. Ali, na žalost, to nije slučaj i sa zvučnicima. Jednostavno, ne postoji zvučnik koji će sa istom efikasnošću da reprodukuje sve tonove iz gore navedenog opsega. Rešenje je u korišćenju više zvučnika od kojih će svaki "biti zadužen" za jedan deo potrebnog frekvencijskog opsega. Na primer, u slučaju tri zvučnika mogu da se koriste niskotonac (*woofer*) koji ima ravnu karakteristiku od 30 Hz do 300 Hz, srednjetonac (*midrange*) koji ima ravnu karakteristiku od 300 Hz do 3 kHz i visokotonac (*tweeter*) koji ima ravnu karakteristiku od 3 kHz do 15 kHz.

Ovi zvučnici se vezuju u paralelu, ali ne direktno već preko tzv. električnih skretnica. To su električni filtri sastavljeni od kalemova i kondenzatora. Prvi od njih je NF filter koji na niskotonac propušta signale (napone) čije su učestanosti manje od 300 Hz, drugi je filter propusnik opsega učestanosti koji na srednjetonac propušta signale čije su učestanosti veće

od 300 Hz a manje od 3 kHz i treći je VF filter koji na visokotonac propušta signale čija je učestanost veća od 3 kHz. O ovim filtrima će kasnije biti više reči, za sada recimo da se oni lako proračunavaju ali priličmo teško realizuju. Glavni problem je u tome što kalemove u filtrima treba sami da napravimo, a instrument kojim bi merili induktivnost se teško nalazi.

Ali, postoji jedan drugačiji pristup ovom problemu. To su aktivni filtri koji se realizuju pomoću otpornika, kondenzatora i operacionih pojačavača. Na slici 4.151 je električna šema trosistemskog pojačavača snage preuzetog iz aplikacija poznatog proizvođača elektronskih komponenta SGS-Tomson. Upotrebljena su tri pojačavača snage TDA2030A koja sa otpornicima i kondenzatorima na ulazu obrazuju tri aktivna filtra. Prvi od njih obrazuju integrisano kolo, dva otpornika od 22 k i blok kondenzatori od 33 nF i 18 nF. To je NF filter koji na izlaz, na zvučnik, propušta signale čije su učestanosti niže od 300 Hz. Pri tome se ostvaruje i potrebno pojačanje A=(3,3+0,1)/0,1=34. U sredini je aktivni filter propusnik opsega učestanosti koji obrazuju integrisano kolo i otpornici i kondenzatori na ulazu. Ovaj filter propušta na zvučnik signale čije su učestanosti veće od 300 Hz a manje od 3 k Hz. Pojačanje je A=(2,2+0,1)/0,1=23. Poslednji je VF filter koji na zvučnik propušta signale čije su učestanosti veće od 3 kHz. Njegovo pojačanje je takođe A=23 ali mu je izlazna snaga dva puta manja od filtra u sredini, jer se koristi zvučnik od 8 .

Što se tiče snage, po teoriji bi u ukupnoj snazi kompletnog pojačavača, trebalo da pojačavač niskih učestanosti učestvuje sa 50 %, pojačavač opsega učestanosti sa 35 % i pojčavač visokih učestanosti sa 15 %. To u slučaju našeg pojačavača nije ostvareno u potpunosti jer se imala u vidu činjenica da je efikasnost zvučnika za srednje i visoke učestanosti za oko 3 dB veća od efikasnosti niskotonaca. Time je, jednostavno govoreći, postignuto da je u onome što slušalac čuje ostvaren odnos 50%/35%/15%. U konkretnom slučaju, u zavisnosti od efikasnosti upotrebljenih zvučnika, podešavanje odnosa snaga može da se ostvari promenom pojačanja srednjeg i donjeg pojačavača. To se postiže promenom otpornosti otpornika sa zvezdicom (2,2 k).



Slika 4.151. Trosistemski pojačavač snage

Pokrenite ELECTRONICS WORKBENCH,
pa pogledajte primere 4.151a, 4.151b i 4.151c



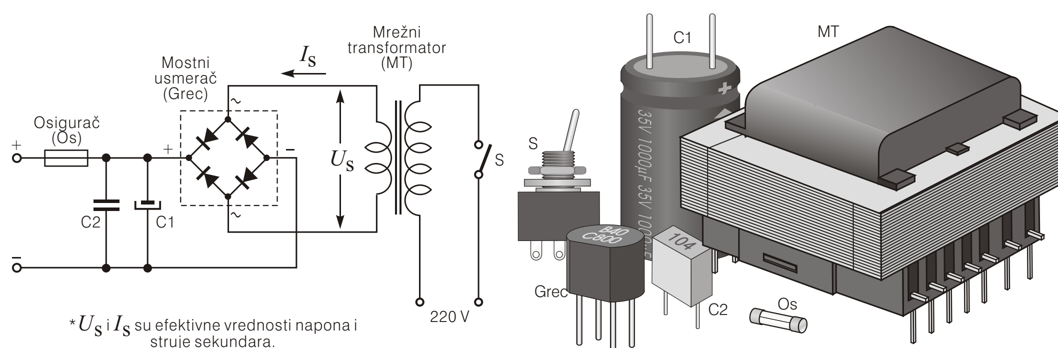
5.

ISPRAVLJAČI ZA AUDIO-POJAČAVAČE

Ispravljači se koriste za napajanje audio-pojačavača električnom energijom. Za normalan rad audio-pojačavača nije neophodno da jednosmerni napon na izlazu ispravljača bude stabilisan pa se stabilizatori ne koriste, a potrebna stabilnost se postiže upotrebom kondenzatora velike kapacitivnosti.

Električna šema ispravljača za pojačavač sa asimetričnim napajanjem prikazana je na slici 5.1. On se sastoji od mrežnog transformatora MT, mostnog usmerača sa četiri diode (Grec), elektrolitskog kondenzatora C1, blok kondenzatora C2, osigurača Os, prekidača S i kabla sa utičnicom preko kojih se na primar transformatora dovodi mrežni napon od 220 V.

* **Mrežni transformator**. Njegove glavne karakteristike su sekundarni napon U_S i struja sekundara I_S ili snaga P. Veza između ovih veličina, koja omogućava da se, kad su poznate dve izračuna treća, je: $P=U_S{\cdot}I_S$. Pošto savremeni integrisani pojačavači snage imaju koeficijent korisnog dejstva oko 65 %, snaga transformatora treba da je za oko 50 % veća od maksimalne izlazne snage pojačavača. U slučaju pojačavača klase D, čiji je k.k.d oko 85 %, snaga transformatora treba da je za oko 15 % veća od maksimalne snage pojačavača. Napon



Slika 5.1. Asimetričan ispravljač: levo - električna šema, desno - komponente

sekundara transformatora treba da je oko 75 % jednosmernog napona ispravljača.

* **Grec**. U praksi se Grecovim usmeračem nazivaju četiri diode u zajedničkom plastičnom kućištu iz koga izlaze četiri nožice obeležene sa plus, minus i dve male sinusoide. Između nožica sa sinusoidama se vezuje sekundar mrežnog transformatora a između druge dve kondenzatori, kao na slici 5.1. Osnovne karakteristike Grecovog usmerača su napon, koji treba da je veći od jednosmernog napona ispravljača, i struja, koja treba da je veća od jednosmerne struje koju pojačavač vuče iz ispravljača.

U slučaju velikih struja ispravljača često se umesto Grecovog usmerača koriste četiri snažne diode, kao što je bio slučaj u ispravljaču na slici 4.119.

* **Kondenzatori**. Kapacitivnost elektrolitskog kondenzatora C1 se računa po obrascu

$$C = \frac{I_1}{U_1}\ 50\,000 \quad F$$

u kome su U_1 i I_1 jednosmerna struja i jednosmerni napon ispravljača, izraženi u voltima odnosno u amperima.

Kondenzator C2 služi za potiskivanje VF napona koje u provodnicima električne mreže indukuju razni radio-predajnici, automobili, električni uređaji i mašine itd. Njegova kapacitivnost je nekoliko stotina nF.

Radni naponi oba kondenzatora moraju da budu veći od jednosmernog napona ispravljača.

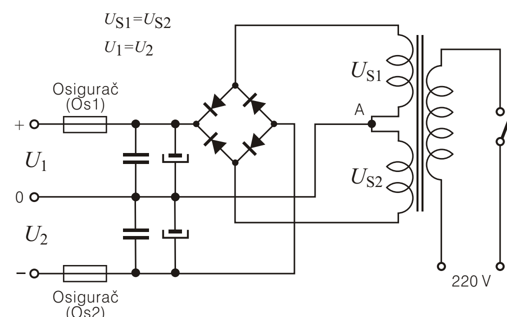
Struja osigurača, koja je ispisana na njemu, treba da je nešto veća od maksimalne veličine struje koju pojačavač vuče iz ispravljača.

Na slici 5.2 je električna šema tipičnog ispravljača koji se koristi za napajanje pojačavača sa simetričnim napajanjem. Na njegovom izlazu postoje dva jednosmerna napona

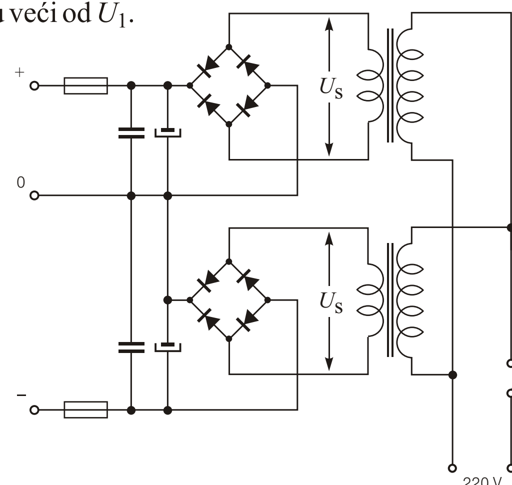
istih veličina od kojih je jedan pozitivan a drugi negativan u odnosu na tačku (0) koja se spaja sa masom (GND) pojačavača. Sekundar mrežnog transformatora ima dva istovetna namotaja. Početak jednog od namotaja je spojen sa krajem drugog. To je tačka A na slici 5.2. Za ovakav transformator se u praksi kaže da ima izvod na sredini sekundara. Napon U_{S1} treba da je malo veći od 70 % napona U_1. Snaga transformatora treba da je za oko 50 % veća od maksimalne izlazne snage pojačavača (za pojačavače koji rade u međuklasi AB) odnosno za oko 15 % (za pojačavače u klasi D).

Radni naponi kondenzatora treba da su veći od U_1.

Na slici 5.3 je prikazano kako u simetričnom ispravljaču mogu da se iskoriste dva posebna, ista transformatora, umesto jednog sa slike 5.2. Naizmenični naponi na



Slika 5.2. Simetričan ispravljač



Slika 5.3. Simetričan ispravljač sa dva mrežna transformatora

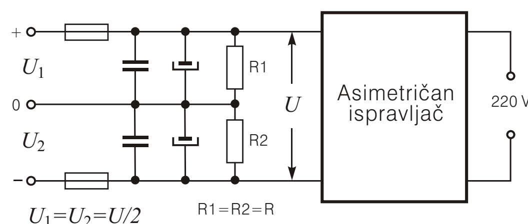
njihovim sekundarima su jednaki naizmeničnom naponu na jednoj polovini sekundara na slici 5.2, a snage jednoj polovini snage.

Ako se trasnsformator pravi premotavanjem nekog starog mrežnog transformatora, sekundar se mota bifilarno: oba sekundara se motaju istovremeno (sa dve žice odjednom), a srednji izvod se dobija spajanjem početka jednog sa krajem drugog namotaja.

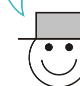
Što se tiče praktične realizacije, ispravljač je moguće realizovati kao potpuno nezavisnu jedinicu i jednosmerni napon sa njegovog izlaza, pomoću dve (tri) deblje bakarne žice, dovesti na pločicu na kojoj je audio-pojačavač. Može i da se Grecov usmerač, kondenzatori i osigurači smeste na štampanu ploču na kojoj su komponente audio-pojačavača, kao što je urađeno u projektu 4.3.29.

Na slici 5.4 je prikazano kako od asimetričnog ispravljača čiji je izlazni napon U može da se naparavi simetričan sa naponima $U_1=U_2=U/2$. Otpornosti otpornika R1 i R2 su jednake i treba da su što manje, što zavisi od maksimalne struje i veličine napona asimetričnog ispravljača. Na primer, ako je izlazni napon ispravljača 24 V, a njegova maksimalna struja 2 A, tada se na izlazima ispravljača dobijaju naponi $U_1= +12$ V i $U_2=-12$ V. Ako su otpornosti otpornika 18 tada kroz njih teče struja od 0,7 A, a za pojačavač koji se napaja iz ovog ispravljača preostaje 1,3 A.

Snaga otpornika treba da je jednaka ili veća od snage $P=U^2/4R$. U našem primeru snaga treba da je veća od 8 W.



Ovo je dobro samo kao privremeno rešenje, pri eksperimentisanju i sl. Trećina, pa i više, snage ispravljača se uludo troši na zagrevanje otpornika R1 i R2.



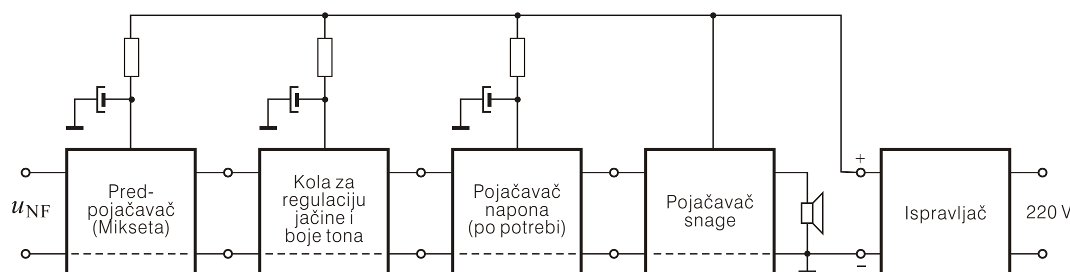
Slika 5.4. Simetričan ispravljač

6.

PRIMERI PRAKTIČNE REALIZACIJE

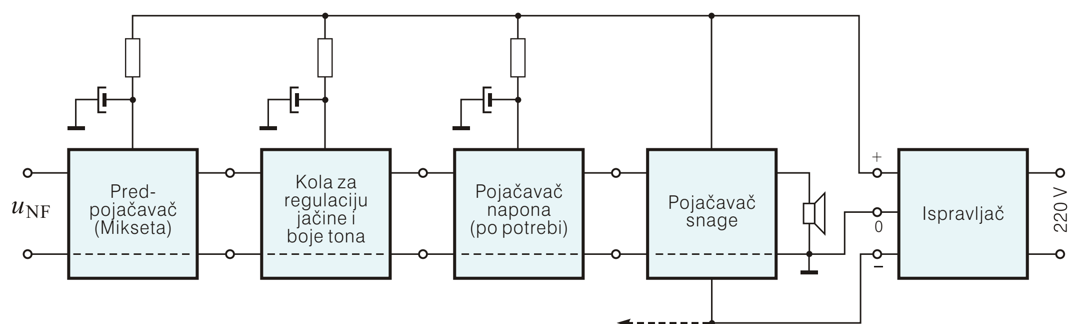
Prvi korak u realizaciji audio-pojačavača je usvajanje odgovarajuće električne šeme. Na vama je da se odlučite za neki od opisanih predpojačavača (ili miksetu, ako vam je potrebna), kolo za regulaciju jačine, kolo za regulaciju boje tona, pojačavač snage i ispravljač, i da ih povezete u kompletan audio-pojačavač. To se ostvaruje na način koji je prikazan na slikama 6.1 i 6.2.

Na slici 6.1 je blok-šema kompletnog audio-pojačavača koji se napaja iz asimetričnog ispravljača. Nastala je tako što su izlazi svih stepena spojene sa ulazima narednih stepena. Sve mase su spojene i povezane sa minus polom ispravljača. Takođe i svi pozitivni vodovi su spojeni i povezani sa pozitivnim krajem ispravljača. Kao što se vidi, samo je pojačavač snage spojen direktno sa pozitivnim krajem ispravljača, ostali su spojeni preko NF filtara sa po jednim otpornikom i kondezatorom. Ovi filtri sprečavaju da se deo pojačanog napona sa izlaza pojačavača vrati na ulaz nekog od stepena, što bi dovelo do nestabilnog rada, pa čak i dooscilovanja pojačavača. Pored toga, otpornici služe i za smanjivanje, ako je potrebno, jednosmernog napona na potrebnu vrednost. Otpornost otpornika je reda kilooma a kapacitivnost kondenzatora od nekoliko do stotinak mikrofarada, optimalne vrednosti se sasvim lako nalaze eksperimentom.



Slika 6.1. Povezivanje stepena (blokova) audio-pojačavača sa asimetričnim napajanjem

Na slici 6.2 je blok-šema kompletnog audio-pojačavača koji se napaja iz simetričnog ispravljača. Kao što se vidi, za napajanje pojačavača snage se koriste oba napona iz ispravljača, a za napajanje ostalih stepena samo pozitivan napon. I negativan se koristi ako u tim stepenima postoji i neki operacioni pojačavač sa simetričnim napajanjem.



Slika 6.2. Povezivanje stepena (blokova) audio-pojačavača sa simetričnim napajanjem

6.1. Najjednostavniji audio-pojačavač

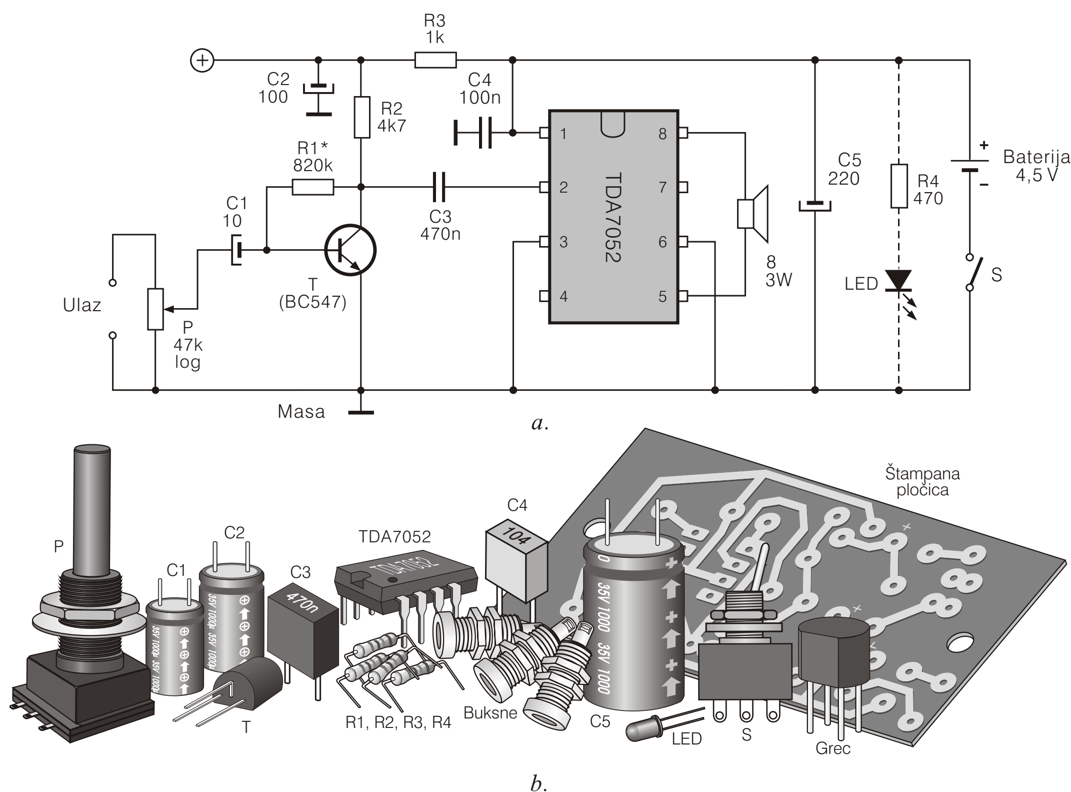
Električna šema najjednostavnijeg audio pojačavača data je na slici 6.3. Mnogi od čitalaca neće se složiti sa njegovim nazivom. Ima i jednostavnijih, reći će oni. Ima, to je tačno, ali su oni mnogo skromnijih mogućnostu ili u pogledu osetljivosti, ili izlazne snage ili izobličenja itd. Zahvaljujući pojačavaču snage sa kolom TDA7052 čije su osnovne karakteristike:

1. Izuzetna stabilnost rada
2. Ugrađena zaštita od kratkog spoja na izlazu
3. Nije potreban hladnjak
4. Mala potrošnja, I_0=4 mA (pri U_B=6 V)
5. Nema "klik"-ova pri uključivanju/ isključivanju
6. Naponsko pojačanje 39 dB
7. Izlazna snaga P_{iz}=1,2 W
8. Vrlo širok opseg napona napajanja 3V...18 V, tipično 6 V,

ovaj pojačavač bi trebalo da se zove "Najjednostavniji, odličan audio-pojačavač.

Napon baterije (ispravljača) iz koga se pojačavač napaja električnom energijom se nalazi u granicama od 3 V do 18 V. Proizvođač kola TDA7052 preporučuje napon napajanja od 6 V. Pri tom naponu, mirna struja pojačavača je samo I_0=4 mA, što ga čini pogodnim za napajanje iz baterije. Mi smo se odlučili za bateriju od 4,5 V.

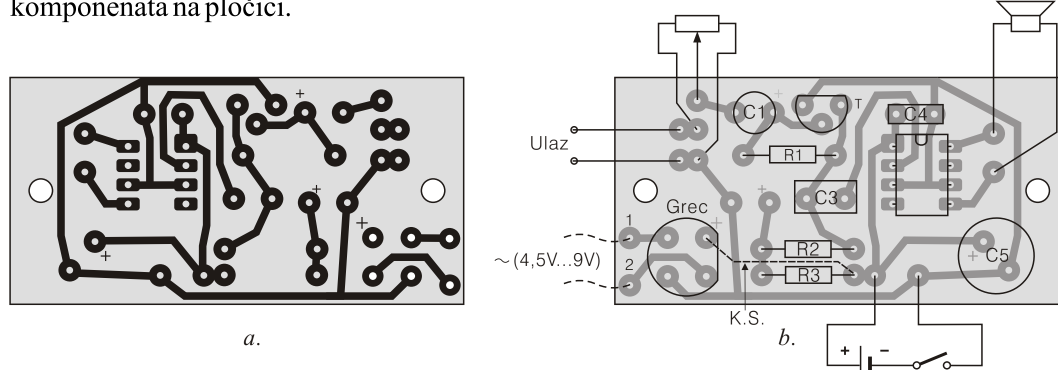
Napajanje iz baterije ima svojih prednosti ali i nedostataka. Mada baterija dugo traje ako je reprodukcija tiha, glavni nedostatak u odnosu na napajanje iz električne mreže je mnogo manja ekonomičnost. Za napajanje iz električne mreže može da se koristi jednostavan ispravljač koji se sastoji iz mrežnog transformatora, Grecovog usmerača i elektrolitskog



Slika 6.3. Najjednostavniji audio pojačavač: a - električna šema, b - komponente

kondenzatora. Na pločici su stopice u koje se leme nožice usmerača, a kondenzator je C5, čiju vrednost treba povećati na 1000   F. Sekundar mrežnog transformatora se spaja sa tačkama 1 i 2. Stopica u koju je zalemljen + usmerača treba, pomoću komada žice (to je kratkospojnik K.S.) spojiti sa stopicom u koju je zalemljen desni kraj R3.Prekidač S treba vezati u kolo primara transformatora.

Na slici 6.4-a je izgled štampane pločice a na slici 6.4-b je prikazan raspored komponenata na pločici.



Slika 6.4. a - štampana pločica, b - raspored komponenata na štampanoj pločici

* Na slici 6.5 je prikazan stvarni izgled pločice sa komponentama i vezama sa prekidačem, potenciometrom i buksnama na koje se dovodi signal koji se pojačava. Prikazan je i Grecov usmerač koji nije potreban kada se pojačavač napaja iz baterije.

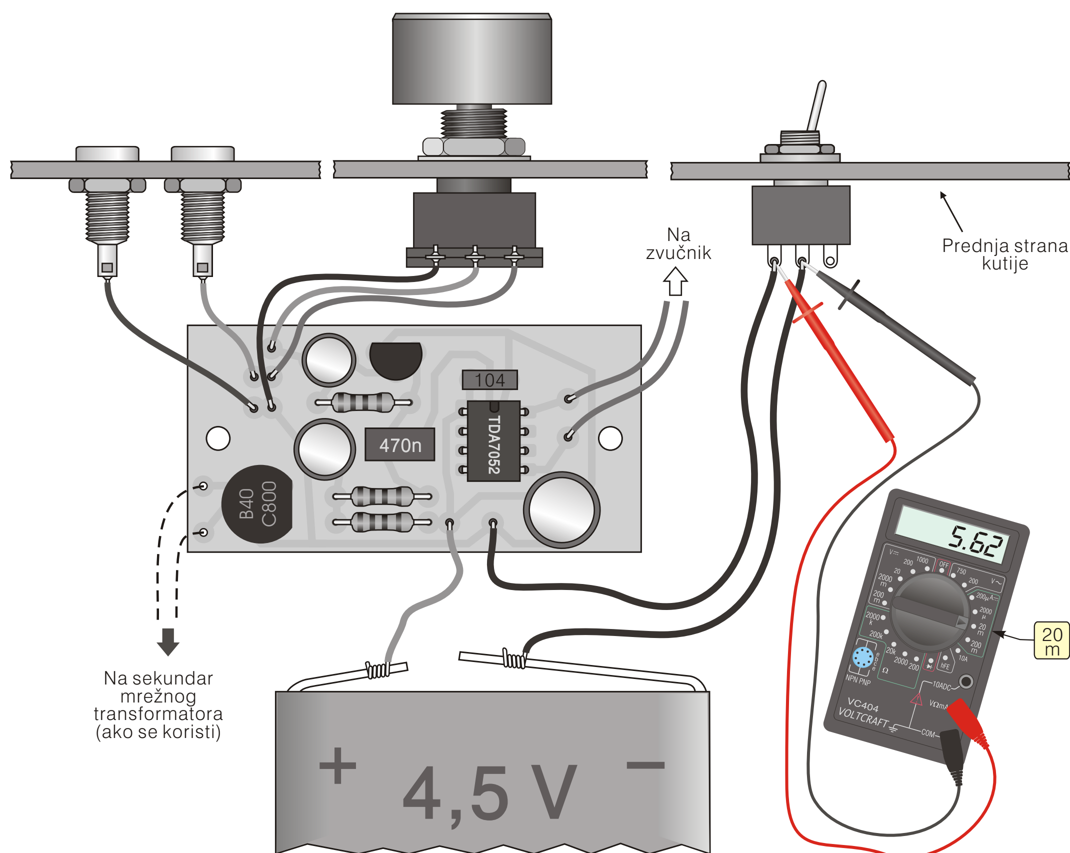
*LED dioda i otpornik od 470   se koriste samo ako se uređaj napaja iz ispravljača. (Struja LED diode je prilično velika, veća od 10 mA, pa bi ona značajno uticala na vek baterije).

* Potenciometar za regulaciju jačine se montira na prednjoj strani kutije u koju su smešteni pločica, zvučnik i baterija (ili ispravljač). Ako je pločica montirana u blizini potenciometra, ne dalje od desetak centimetara, za veze između potenciometra i pločice mogu da se koriste obične žice. U suprotnom ako je pločica daleko od potenciometra, treba koristiti mikrofonski kabl.

* Pojačavač, zvučnik i baterija (ili ispravljač) se smeštaju u zajedničku kutiju koja je prikazana na slici 6.5. Na prednju ploču se montiraju potenciometar i neka jednostavna utičnica (može i činč) za koju posedujete i utikač. Ako nemate utičnicu, možete da koristite obične buksne (kao što je na slici 6.5). Za dovođenje signala koji se pojačava na ulaz pojačavača treba koristiti mikrofonski kabl. Ako se u tu svrhu koriste obične izolovane žice, one treba da su što je moguće kraće.

Na prednjoj ploči je i buksna obeležena sa +. Ona je, prema slici 6.3-a, komadom žice, spojena sa stopicom u koju je zalemljen levi kraj R3. Ova buksna se, ako je to potrebno, koristi za napajanje električnom energijom elektronskog uređaja iz koga se dovodi signal na pojačavač.

Kada se koristi ispravljač, na prednjoj ploči je i LED dioda.



Slika 6.5. Praktična realizacija i merenje mirne struje pojačavača sa slike 6.3

* Pre nego što se upustite u izradu pločice proverite da li rastojanja između stopica odgovaraju komponentama kojima raspolažete (naročito C5) i, ako je potrebno, izvršite korekcije.

* Neposredno pred montažu i lemljenje, dobro očistite bakarne linije i stopice komadom vlažne krpe zamočene u neko praškasto sredstvo za čišćenje. Komponente montirajte na pločicu i lemite ovim redom: kratkospojnik, otpornici, integrisano kolo, kondenzatori, provodnici kojima se pločica spaja sa zvučnikom, baterijom i prekidačem i mikrofonski kabl (ako ga koristite) ili provodnici za povezivanje sa pločicom.

* Nemojte da koristite minijaturne zvučnike jer oni imaju vrlo mali koeficijent korisnog dejstva i vrlo lošu reprodukciju tonova niskih učestanosti. Koristite zvučnik snage veće od dva vata i prečnika membrane većeg od deset centimetara.

* Proverite jednosmerni režim rada predpojačavača. Izmerite jednosmerni napon na gornjem i donjem kraju R2. Ovaj drugi napon treba da je približno dva puta manji od prvog. Razlika ova dva napona podeljena sa 4,7 je kolektorska struja tranzistora u miliamperima. Ako je napon na donjem kraju R2 znatno manji od potrebne vrednosti, povećajte otpornost R1, a ako je veći smanjite je, dok ne ostvarite da bude približno jednak polovini napona ma gornjem kraju R2.

Tranzistor koji smo mi koristili imao je koeficijent strujnog pojačanja h_{FE}=420 pa je napon na gornjem kraju R2 bio 4,1 V, a na donjem kraju 2,1 V i kroz tranzistor je tekla struja nešto veća od 0,4 mA. Pošto će koeficijent h_{FE} vašeg tranzistora sigurno biti ili veći ili manji od 420 trebalo bi da izvršite opisano podešavanje. Šta da rade oni koji ne poseduju instrument. Najbolje bi bilo da ga nabave, a, ako to nije moguće, treba da se prekrste i uključe uređaj. Zatim treba da na ulaz pojačavača dovedu neki NF signal iz kasetofona, CD plejera, kompjutera i sl. i slušaju. Ako im se reprodukcija dopada i nijedna komponenta se ne pregreva, sve je u redu.

Provera pojačavača snage TDA7052 se svodi na merenje njegove mirne struje, koja bi trebalo da je oko 5 mA. Otvorite prekidač S, a preklopnik na instrumentu stavite u položaj za merenje jednosmerne struje (kao na slici 6.5). Vrhovima sondi dodirnite nožice prekidača i na displeju instrumenta će se pojaviti broj koji predstavlja struju u miliamperima. Ako je to približno 5 mA, sve je u redu. Pomerite klizač potenciometra tako da bude iznad krajnjeg donjeg položaja pa dodirnite prstom ulaz u pojačavač. Iz zvučnika treba da se čuje brujanje učestanosti 50 Hz.

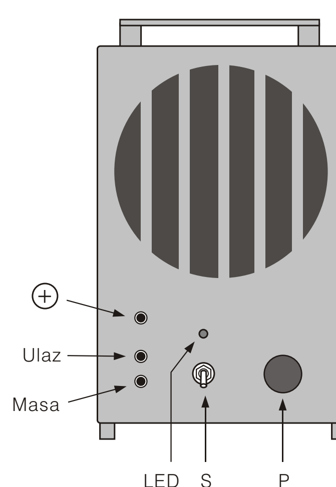
* Ako pojačavač ne radi dobro ili ne radi uopšte, pokušajte da na osnovu merenja pronađete kvar. Proverite da li je neka bakarna linija prekinuta, ili se dve susedne linije dodiruju (ili su spojene komadićem kalaja koji je pao sa lemilice pri lemljenju), da li su svi spojevi dobri, da nisu neki od elektrolitskih kondenzatora, tranzistor, Grec ili integrisano kolo montirani naopako itd.

* Pločicu, pomoću dva mala zavrtnja za drvo pričvrstite za prednju stranu kutije tako da su veze sa potenciometrom i buksnama što kraće. Između pločice i prednje strane treba postaviti dva odstojnika, tako da je pločica odmaknuta nekoliko (recimo 10) milimetara.

(Odstojnici su dve cevčice dužine oko 10 mm. Zavrtnji za pričvršćivanje se provuku prvo kroz rupe na ploči, pa kroz cevčice i onda ušrafe u stranicu). Posle toga spojite zvučnik, prekidač, bateriju itd.

* Ceo pojačavač sa baterijom treba smestiti u neku lepu kutiju, recimo kao na slici 6.6, i dobija se mali aktivni zvučnik koji treba da ima svaki ljubitelj elektronike. Pomoću njega mogu da se traže greške i kvarovi u audio-pojačavačima, radio-prijemnicima i sličnim uređajima koji u sebi imaju i audio-pojačavač, testiraju radio-uređaji itd, o čemu će biti reči kasnije.

Slika 6.6. Aktivni zvučnik 

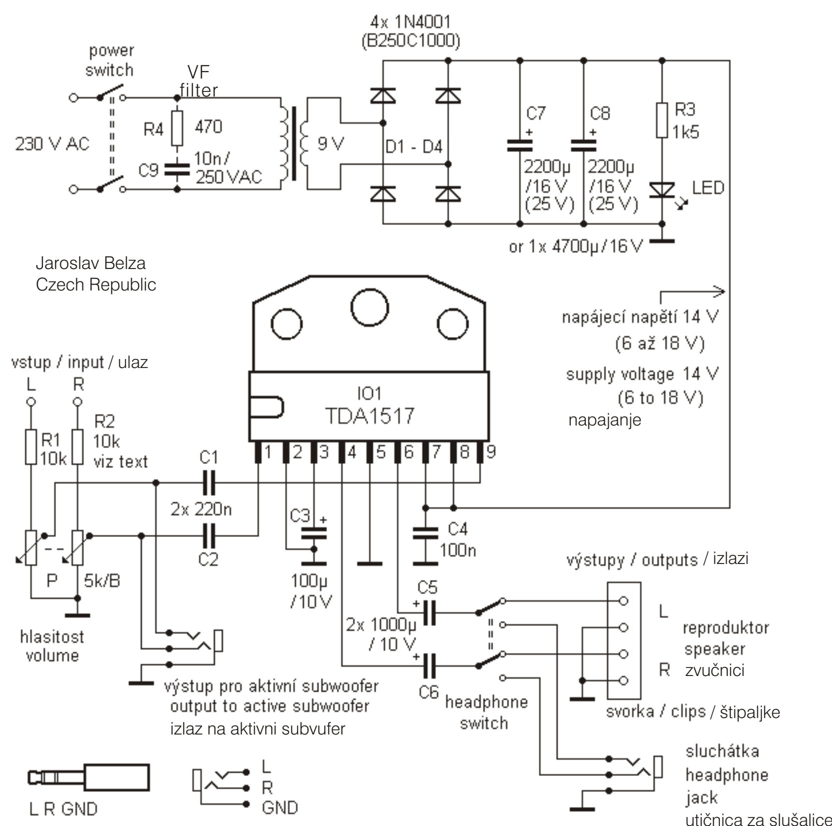


6.2. Audio-pojačavač za kompjuter

Pri korišćenju audio-pojačavača koji se dobijaju uz kompjuter lako se zapaža njihov vrlo loš kvalitet reprodukcije, naročito u oblasti niskih učestanosti. To nije ništa neočekivano jer su ovi pojačavači smešteni u male kutije, pa su im i zvučnici malih dimenzija i nesposobni za reprodukciju tonova niskih učestanosti. Dodavanje spoljnih zvučnika većih dimenzija ne rešava problem jer su snage pojačavača suviše male. Na pojačavačima "kineske" proizvodnje obično piše da je frekvencijski opseg 20 - 20000 Hz, a snaga više desetina pa i stotina vati "PMPO". Ono prvo nije tačno, a drugo je običan trgovački trik. Pravo rešenje je dobar pojačavač sa dobrim zvučnicima. Tek sa njima ćete moći da uživate u muzici sa kompjutera. Pojačavač ne mora da bude kompletan, nepotrebni su i predpojačavač i regulacija jačine i boje tona, sve te stvari se obavljaju pomoću zvučne kartice i odgovarajućeg softvera (WinAmp).

Odlučili smo se za pojačavač snage sa kolom TDA1517 objavljenom u češkom časopisu "Praktická elektronika". Autor je Jaroslav Belza. Električna šema je na slici 6.7. Oznake na njoj su bile na češkom i engleskom, a mi smo "da bi ceo svet mogao da razume", dodali i na srpskom.

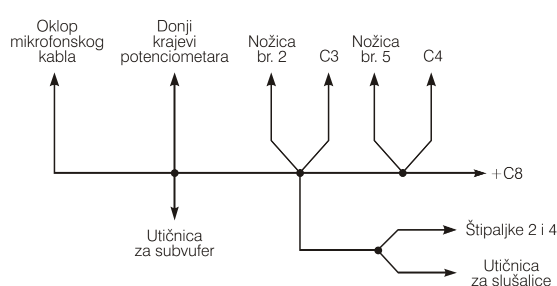
Praktična realizacija je prikazna na slici 6.8. Na njoj se vidi i zašto smo ovaj pojačavač uvrstili u knjigu. Dopalo nam se što je pojačavač smešten u običnu kartonsku kutiju dimenzija 110x85x85 mm. Za praktičnu realizaciju pojačavača i ispravljača su korišćeni komadi univerzalne štampane pločice. Dimenzije pločica su 25x25mm (pojačavač) i 60x30 mm (ispravljač). Hladnjak je pravougaoni komad lima koji služi i kao ojačanje zadnje strane kutije. Zvučnici su povezani preko letvice sa četiri štipaljke. Veza sa zvučnom karticom je preko mikrofonskog kabla sa dva



Slika 6.7. Pojačavač snage za kompjuter

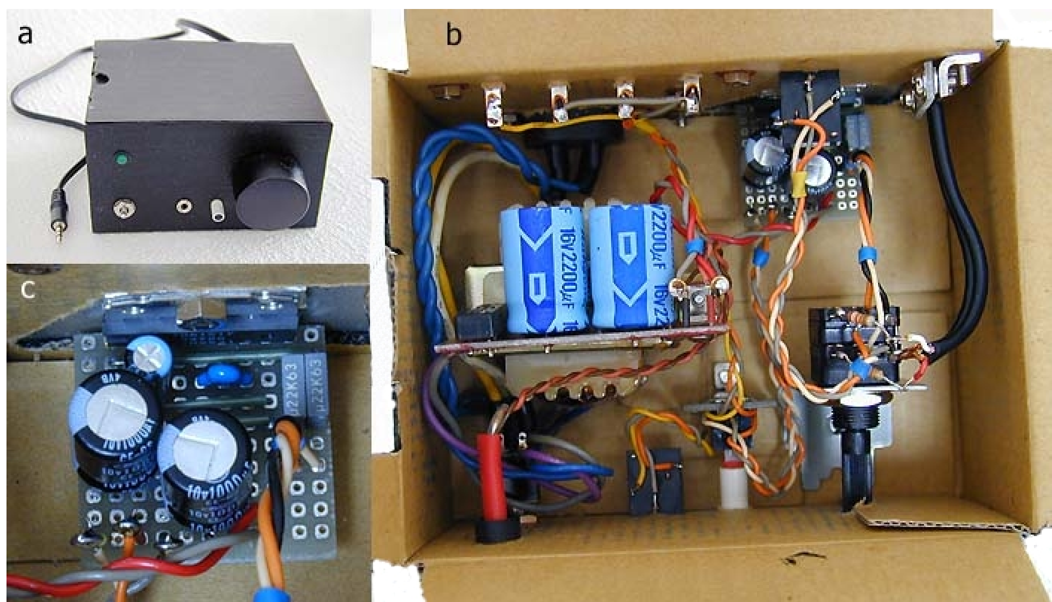
provodnika (L i R) i oklopom (GND) i stereo utikača koji je prikazan u donjem levom uglu slike 6.7. Veze su ostvarene savitljivim (licnastim) žicama različitih boja, što olakšava povezivanje.

* Izlazna snaga pri R_{zv}=4 i izobličenjim od k=0,5 % je 2 x 5 W, što je sasvim dovoljno za normalne kućne potrebe.



Slika 6.9. Povezivanje sa masom

* Pri crtanju štampanog kola treba voditi računa o masama, o čemu je već bilo reči. Prema autoru ovog projekta, povezivanje sa masom treba obaviti prema skici na slici 6.9.



Slika 6.8. Pojačavač sa slike 6.7: a - pojačavač sa ispravljačem u kartonskoj kutiji, b - pogled u kutiju odozgo, c - pločica sa pojačavačem

6.3. Subwoofer (sabvufer)

Ovaj pojačavač je namenjen zagriženim ljubiteljima kompjuterskih akcionih igara, u kojima ima pucanja, eksplozija, sudara vozila i sličnih stvari koje prate razni, vrlo jaki zvukovi. Učestanosti prvih harmonika ovih zvukova su manje od 100 Hz, pa ih prosečni pojačavači koji idu uz kompjutere vrlo slabo reprodukuju, što kvari ukupni utisak pri igri. Rešenje je dodatni pojačavač velike snage koji pojačava tonove vrlo niskih učestanosti, koji se popularno naziva sabvufer.

Električna šema jednog sabvufera je prikazana na slici 6.10. Njegove granične učestanosti su f_d=10 Hz i f_g=100 Hz. Na utičnicu J1 se dovodi signal iz zvučne kartice u kompjuteru, a na J2 se priključuje postojeći pojačavač.

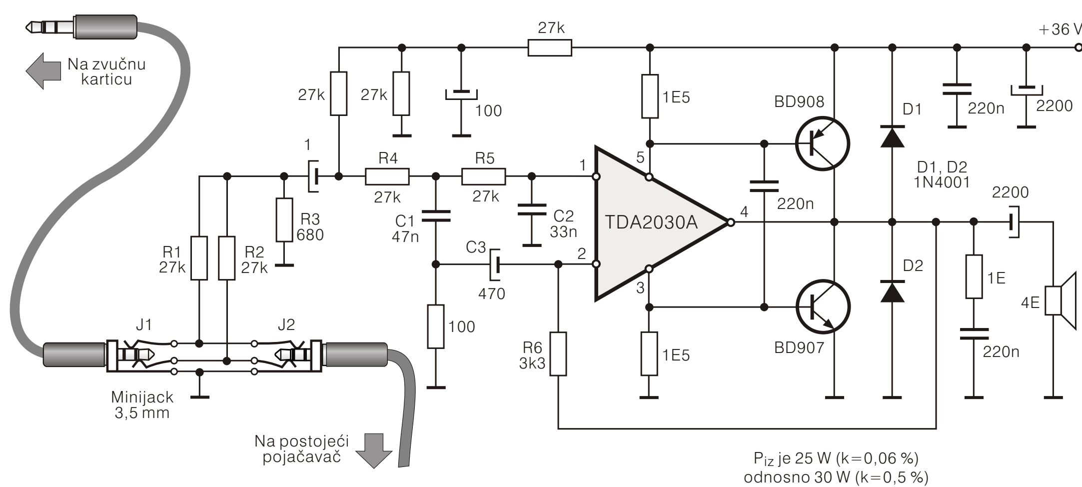
Sabiranje signala iz levog i desnog kanala se obavlja pomoću otpornika R1, R2 i R3. Otpornici R4 i R5 i kondenzatori C1 i C2 sa pojačavačem obrazuju aktivni filter.

* Pojačanje može da se promeni promenom otpornosti otpornika R6.

* Gornja granična učestanost može da se promeni promenom otpornosti R4 i R5 i kapacitivnosti C1 i C2, a donja promenom kapacitivnosti C3.

* Prema analizama u EWB-u, sa R4=R5=27 k , C1=3,3 nF, C2=1,8 nF i C3=100 F, granične učestanosti pojačavča su f_d=20 Hz i f_g=23 kHz. Ako na ovaj pojačavač, preko utičnice J2, priključite pojačavač sa slike 6.7 dobićete izvanredan stereofonski pojačavač za muziku sa kompjutera. Da bi se ostvario stereofonski efekat, pri postavljanju zvučnika treba voditi računa samo o zvučnicima sa slike 6.7. Oni treba da su tako postavljeni da vam muzika iz jednog kanala dolazi sa prednje leve, a muzika iz drugog sa prednje desne strane. Zvučnik sa slike 6.10 može da stoji bilo gde u sobi.

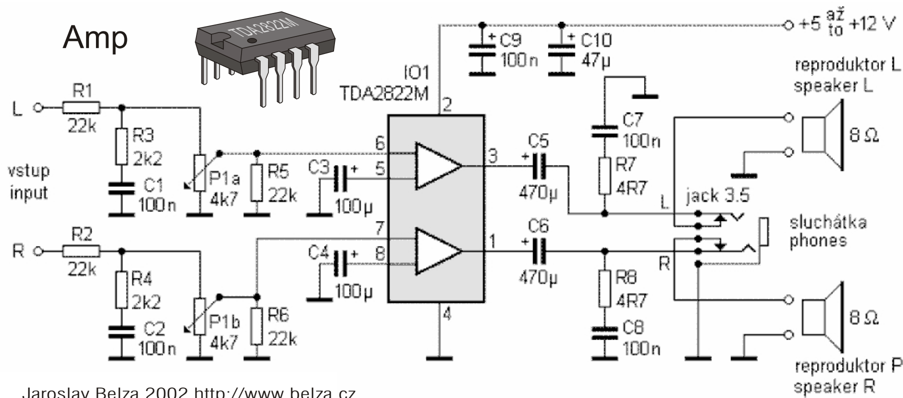
* Ne zaboravite, potreban vam je zvučnik za niske učestanosti, snage oko 30 W. Ako koristite zvučnik manje snage, treba da pazite da jačina signala koji dovodite na ulaz pojačavača ne pređe vrednost pri kojoj se ostvaruje izlazna snaga koja je veća od snage zvučnika. Zaštita od ove mogućnosti se postiže smanjenjem osetljivosti sabvufera. To se ostvaruje povećavanjem otpornosti R1 i R2.



Slika 6.10. Subvufer - audio-pojačavač vrlo niskih učestanosti

6.4. Amp (mikro Amp) - sićušni pojačavač

Na slici 6.11 je električna šema jednog, vrlo malog (mikro na grčkom znači vrlo mali) pojačavača snage sa integrisanim kolom TDA2822M. Glavne karakteristike ovog kola su vrlo širok opseg napona napajanja (od 1,8 V pa sve do 15 V) i mala mirna struja (oko 6 mA), što ga čini veoma pogodnim za primenu u prenosnim stereofomskim uređajima (radio-kasetofonima, raznim plejerima i sl.). Specifičnost ovog pojačavača je u tome što se napaja iz



Slika 6.11. Mikro audio-pojačavač

kompjutera naponom od 5 V, koji se uzima preko GAME PORT-a. Ova utičnica ima 15 nožica, kao što je prikazano na slci 6.12. Napajanje se uzima sa nožica 1 i 4. Za to je potreban odgovarajući 15-o polni utikač.

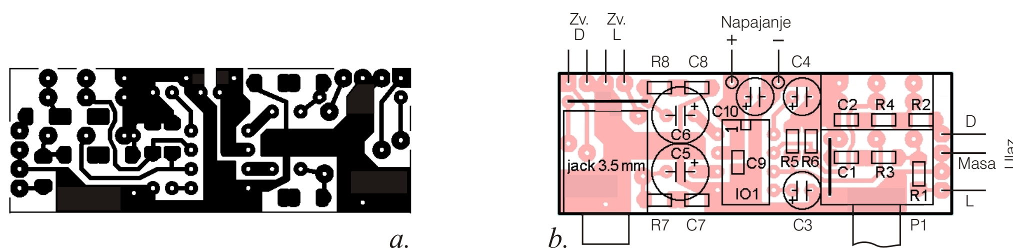


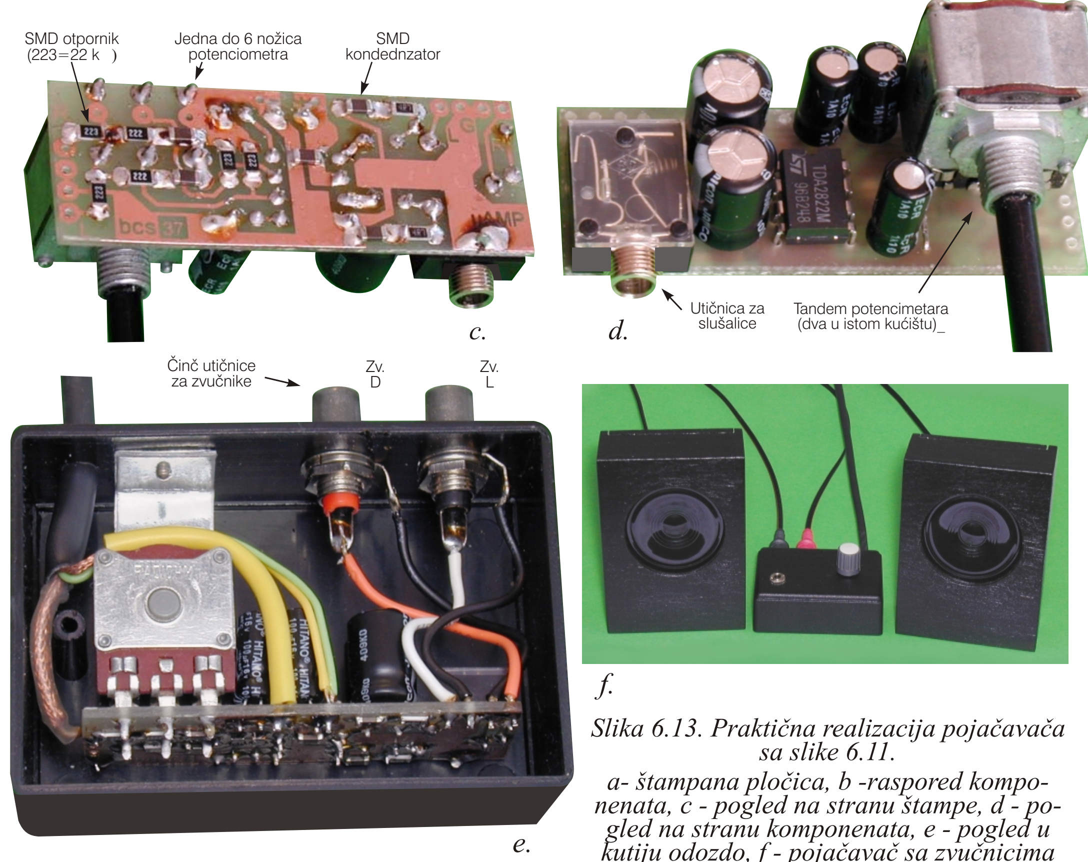
Slika 6.12. Levo - raspored nožica GAME PORT-a, desno - 15-polni utikač (Canon 15M)

Druga specifičnost ovog uređaja je u tome što su otpornici i kondenzatori SMD komponente pa su zalemljeni na strani pločice na kojoj su bakarne stopice i linije.

Praktična realizacija pojačavača je prikazna na slici 6.13.

* Pločica na slici 6.13-b se dobija tako što se pločica sa slike 6.13-a okrene s leva u desno.





Slika 6.13. Praktična realizacija pojačavača sa slike 6.11.
a- štampana pločica, b -raspored kompo-nenata, c - pogled na stranu štampe, d - po-gled na stranu komponenata, e - pogled u kutiju odozdo, f - pojačavač sa zvučnicima

6.5. Pojačavač snage sa LM3876T (LM3886*)

Evo šta u uvodu svoje DATA SHEET za kolo LM3876 kaže njegov proizvođač, čuvena kompanija *National Semiconductor* iz još čuvenije Silikonske (silicijumske) doline u Kaliforniji.

LM3876 *Overture*™
Audio Power Amplifier Series
High-Performance 56W Audio Power Amplifier w/Mute

The LM3876 is a high-performance audio power amplifier capable of delivering 56W of continuous average power to an 8 load with 0.1% THD+N from 20Hz–20kHz.

The performance of the LM3876, utilizing its Self Peak Instantaneous Temperature (°Ke) (**SPiKe**™) protection circuitry, puts it in a class above discrete and hybrid amplifiers by providing an inherently, dynamically protected Safe Operating Area (SOA). **SPiKe** protection means that these parts are completely safeguarded at the output against overvoltage, undervoltage, overloads, including shorts to the supplies, thermal runaway, and instantaneous temperature peaks.

The LM3876 maintains an excellent signal-to-noise ratio of greater than 95dB (min) with a typical low noise floor of 2.0 V. It exhibits extremely low THD+N values of 0.06% at the rated output into the rated load over the audio spectrum, and provides excellent linearity with an IMD (SMPTE) typical rating of 0.004%.

Features

- 56W continuous average output power into 8 .
- 100W instantaneous peak output power capability
- Signal-to-Noise Ratio ≥95 dB(min)
- An input mute function
- Output protection from a short to ground or to the supplies via internal current limiting circuitry
- Output over-voltage protection against transients from inductive loads
- Supply under-voltage protection, not allowing internal biasing to occur when |VEE| + |VCC|≤ 12V, thus eliminating turn-on and turn-off t ransients
- 11-lead TO-220 package
- Wide supply range (20V - 94V)

Applications

- Component stereo
- Compact stereo
- Self-powered speakers
- Surround-sound amplifiers
- High-end stereo TVs



To je, kao što rekosmo, samo kratak uvod. Sledi još 22 stranice formata A4 sa električnim šemama, dijagramima, uputstvima, proračunima i mnogo drugih korisnih stvari koje omogućuju da se kolo iskoristi na najbolji mogući način. Autor savetuje svoje čitaoce da svakako odu na Internet adresu

www.datasheetcatalog.com

i sa nje skinu podatke o kolu i da ih pažljivo prouče.

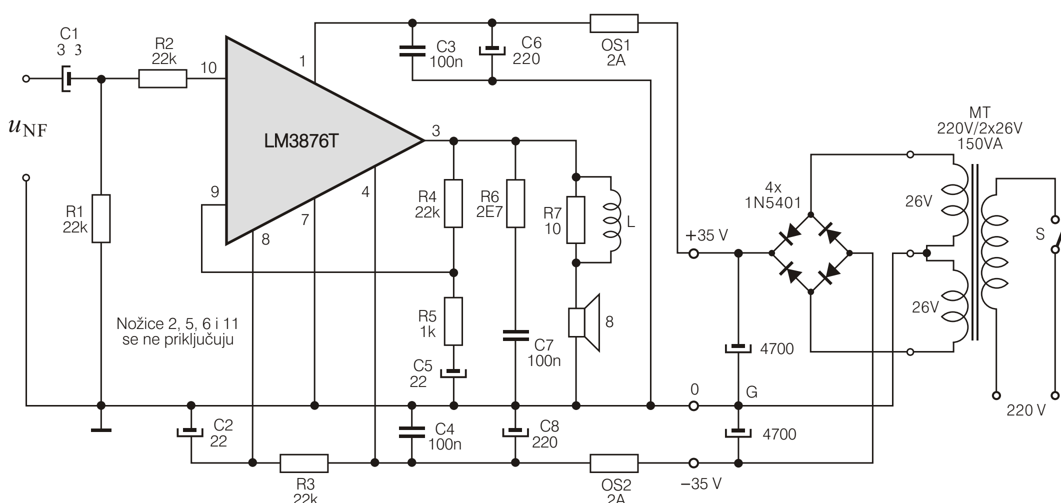
Kad ste već na Mreži, pokrenite Google i potražite sajtove na kojima se pominje reč LM3876. Dobićete hiljade adresa, pretražite ih i naći ćete hiljade kolega ljubitelja elektronike od kojih možete da naučite mnogo lepih i korisnih stvari.

Slika 6.14. Dimenzije kola LM3876

Električna šema pojačavača snage 56 W, izvedenog sa kolom LM3876T, data je na slici 6.15. To je manje-više standardna šema pojačavača sa snažnim operacionim pojačavačem u neinvertujućem spoju.

Pojačanje napona je A=(R4+R5)/R5=23=27 dB, što je tipična vrednost za pojačavače snage, a može da se promeni promenom otpornosti otpornika R5 i/ili R4.

* Svi otpornici su metal-film otpornici snage 1/4 W sa tolerancijom od 1 %. Izuzeci su R6 i R7 čije su snage 1W.



Slika 6.15. Pojačavač snage sa kolom LM3876T

* Elektrolitski kondenzatori su za napon od 50 V, ili veći. Preporučljivo je, ne i obavezno, da C6 i C8 budu brzi, tantalski kondenzatori. Kao i uvek kad su u pitanju integrisana kola, kondenzatore C3 i C4 treba montirati što je moguće bliže nožicama 1 i 4.

* Kalem ima induktivnost L=0,7 H. On se, prema uputstvima datim u vezi sa slikom 4.140, pravi tako što se bakarna žica namota preko otpornika R7. On ima 10 zavojaka bakarne emajlirane žice, prečnika 0,5 mm. Sa krajeva žice se odstruže izolacija i oni zaleme za nožice otpornika, mada je moguće i da se izbuše još dve rupe za kalem. Ovaj pojačavač ne radi u klasi D, kalem služi da spreči da na zvučnik stigne neki parazitski VF napon, koji se ne čuje ali može da ošteti zvučnik.

* Napon napajanja nije kritičan, može da bude i nešto manji ili veći od ±35 V. To znači i da napon sekundara mrežnog transformatora može da bude nešto veći ili manji od 26 V. Snaga transformatora je oko 80 W (za jednokanalni pojačavač), a oko 150 W (za stereofonski). U svakom slučaju, treba imati na umu da jednosmerni napon napajanja ne sme da bude veći ± 45 V.

* Da bi se smanjila termalna otpornost, preporučljivo je da se kolo montira na hladnjak bez liskunskih izolatora. U tom slučaju mora da se ima u vidu da će jednosmerni napon (u odnosu na masu) na hladnjaku biti jednak –35 V, pa hladnjak ne sme da dodirne metalnu kutiju u koju je, ako je, smešten pojačavač. (Metalna kutija se uvek spaja sa masom pojačavača i sa nultim provodnikom iz šuko utikača, ako se takav koristi.)

* Nešto veća snaga može da se dobije ako se umesto LM3876 koristi LM3886. Ova dva kola su pinkompatibilna, sa jednom malom razlikom. Nožicu 5 kola LM3886 treba spojiti sa nožicom 1, čime se na nju dovodi pozitivan napon napajanja, što se u slučaju već napravljene štampane pločice ostvaruje komadom bakarne žice.

* Pojačavač nikada ne testirajte bez hladnjaka jer će vrlo brzo da se pregreje. U tom slučaju će se automatski uključiti kolo za zaštitu i isključiti pojačavač, ali je to stvar koju ne treba testirati, osim ako za to imate neki dobar razlog.

* Štampana pločica i fotografija pločice sa komponentama je na slici 6.16. To je stereofonski pojačavač sa dva LM3876, povezanih prema slici 6.15. Kritično mesto na štampi je suženje bakarne linije na koje ukazuje zvezdica na gornjem delu slike. Problem se

lako rešava tako što se na taj deo pomoću lemilice nanese malo deblji sloj kalaja. Na isti način mogu da se i ostali delovi štampe podebljaju i učine sposobnim za provođenje jačih struja.

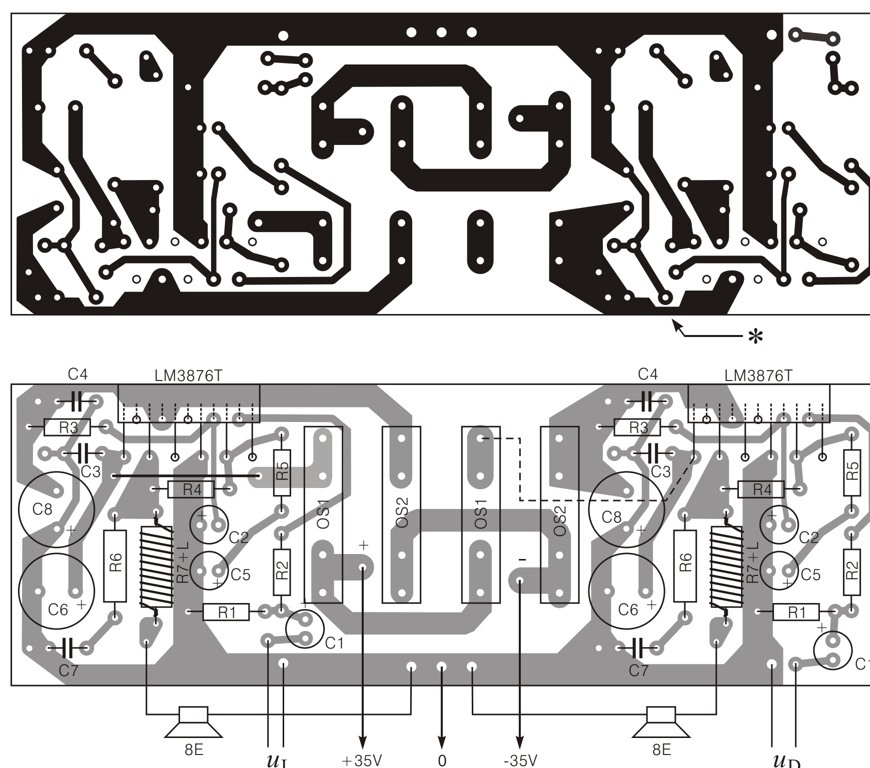
Na pločici postoje dva kratkospojnika. Jedan je sa strane komponenata, on spaja nožicu 1 levog LM3876T sa gornjim krajem levog osigurača OS1, a drugi je sa strane bakra, on spaja nožicu 1 desnog LM3876T sa gornjim krajem desnog osigurača OS1. Ovaj drugi kratkospojnik je prikazan isprekidanom linijom. Linija je izlomljena radi bolje preglednosti slike, u stvarnosti to je komad prave žice prečnika 1 mm i dužine oko 2 cm, čiji se levi kraj lemi dirktno na jednu od nožica nosača osigurača, a desni na nožicu 1.

* Ako je ispravljač daleko od pojačavača, tada provodnike kojima su zvučnici povezani sa masom (nacrtani isprekidanim linijama) treba povezati sa tačkom G, u kojoj su u ispravljaču spojeni elektrolitski kondenzatori.

* Fotografija u donjem delu slike 6.16 ne odgovara u potpunosti štampanom kolu iznad nje. Razlika je u tome što je na štampi R2 okrenut nagore a C1 malo pomeren udesno.

* Osetljivost ovog pojačavača, to je veličina ulaznog napona pri kojoj se ostvaruje izlazna snaga od 56 W, je oko 0,9 V, što znači da može da se priključi direktno na zvučnu karticu u kompjuteru. Ako se pojačavač koristi za pojačavanje signala čija je veličina znatno manja do 0,9 V, neophodan je i predpojačavač, čije pojačanje treba da je jednako ili veće od $A=0{,}9/U_{ul}$. (U_{ul} je efektivna vrednost napona koji se pojačavača.)

* Na fotografiji na slici 6.16 oba kola LM3876T stoje ukrivo jer su njihove nožice provučene kroz stopice ali još nisu zalemljene. One se leme tek kad se kola montiraju na hladnjak i ovaj postavi u svoj položaj.



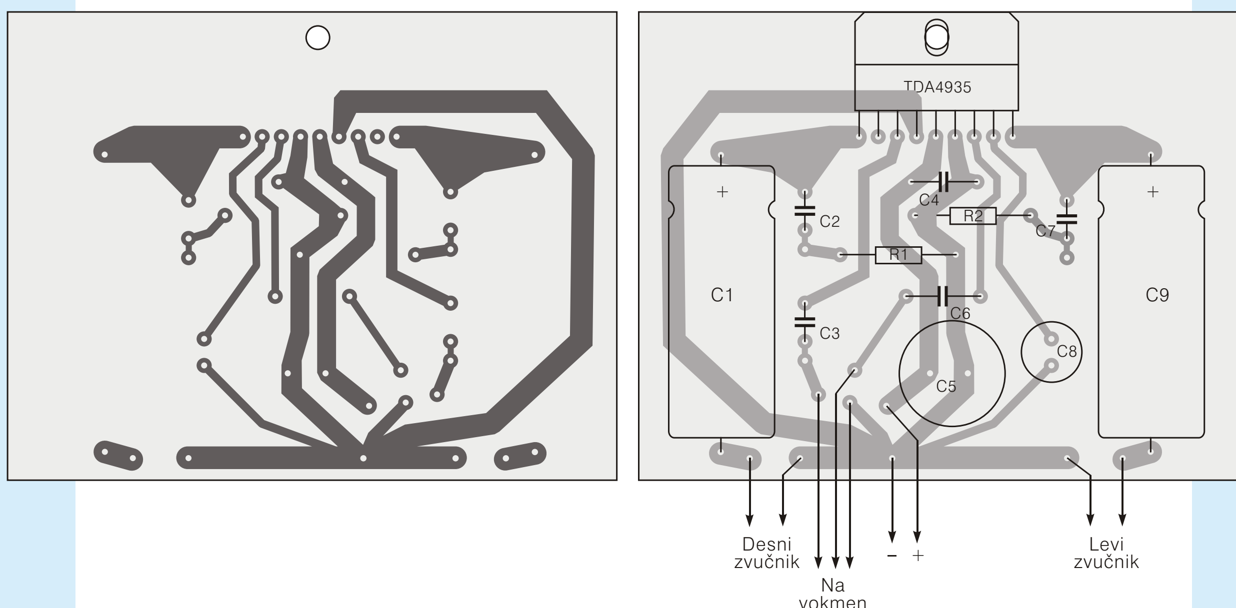


Slika 6.16. Pojačavač snage sa kolima LM3876T

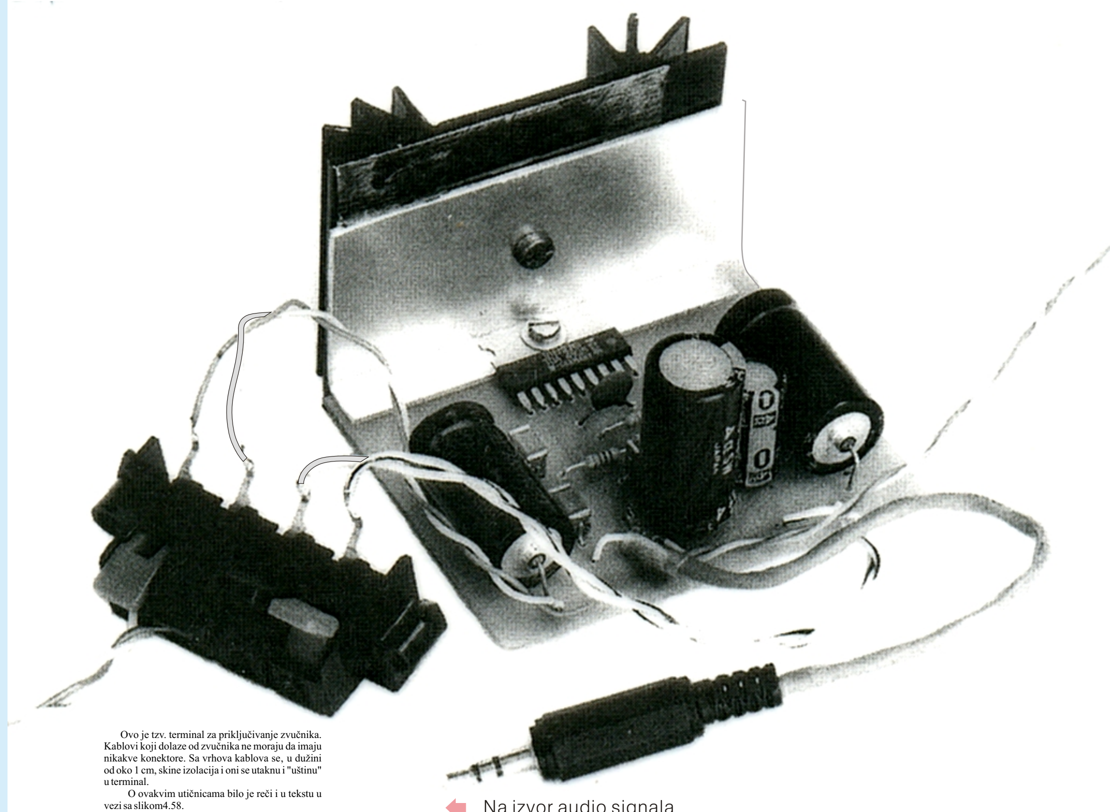
6.6. Audio-pojačavač za mobilni telefon, MP3 plejer . . .

Ovaj audio pojačavač snage je napravljen da bi se preko njega ostvarila glasna reprodukcija (preko zvučnika) muzike sa malog prenosnog vokmena koji je imao izlaz samo za slušalice. Naravno, isti pojačavač može da se koristi i za glasnu reprodukciju sa malog prenosnog radio-prijemnika, kasetofona, radio-prijemnika u mobilnom telefonu, MP3 plejera i sličnih uređaja koji imaju malu izlaznu snagu, a poseduju priključak za slušalice. To

je pojačavač snage čija je električna šema data na slici 4.43. Izgled štampane pločice je na slici 6.17, a fotografija praktično realizovanog pojačavača je na slici 6.18.



Slika 6.17. Štampana pločica pojačavača sa slike 4.43



Slika 6.18. Fotografija audio-pojačavača za vokmen

U donjem delu slike je utikač kojim se pojačavač spaja sa vokmenom. Dve uvijene žice u desnom delu slike idu na ispravljač, a u levom delu slike je sklop u koji se utaknu dva puta po dve žice koje idu na zvučnike. (Na slici su utaknute i priljučene samo dve žice koje idu na jedan od zvučnika. Druge dve nisu prikazane.)

Pojačavač, zajedno sa ispravljačem, treba smestiti u neku kutiju odgovarajuće veličine. Na njenoj zadnjoj strani treba napraviti otvor i montirati utičnicu (sklop u levom delu slike) za zvučnike. Sa zadnje strane treba da je i otvor kroz koji prolazi gajtan na čijem je kraju utikač za 220 V, a može i kućište za osigurač. Na prednjoj strani kutije treba montirati prekidač za 220 V i LE diodu kao svetlosni indikator uključenosti uređaja i probušiti rupu kroz koju izlazi oklopljeni kabl sa utikačem za vokmen.

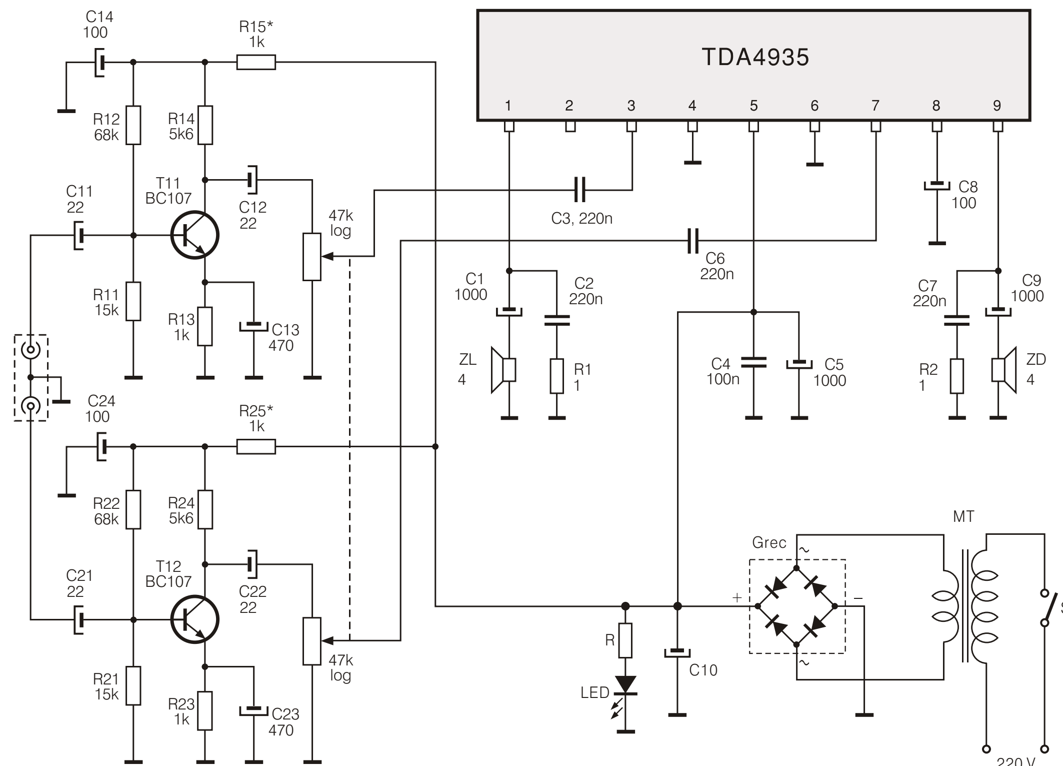
Na slici 6.17, utikač za vokmen je, preko oklopljenog kabla, spojen direktno sa štampanom pločicom. To nije dobro rešenje ako pojačavač želite da koristite i u neke druge svrhe. Bolje je da na prednjoj strani kutije montirate neku utičnicu, a nju pomoću oklopljenog kabla povezete sa pločicom. Za povezivanje sa vokmenom tada ćete koristiti oklopljeni kabl koji na oba kraja ima po jedan utikač.

* Ako pojačavač ne radi kako treba, između oba njegova ulaza i mase treba dodati po jedan otpornik od nekoliko desetina k   .

6.7. 2x4.3 + 4.10 + 4.43 + 5.1=kompletan jednostavan audio-pojačavač

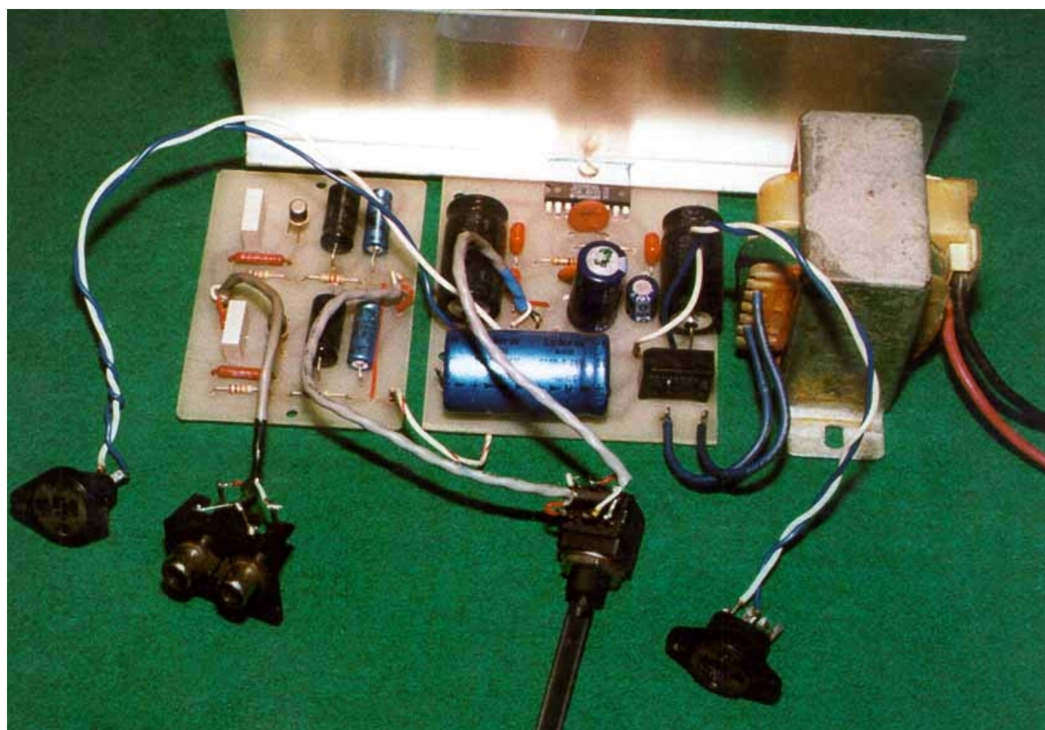
Ovaj projekat je primer kako se od blokova opisanih u prethodnim glavama formira kompletan pojačavač. Povezivanjem dva predpojačavača sa slike 4.3, potenciometra za regulaciju jačine sa slike 4.10, pojačavača snage sa slike 4.43 i ispravljača sa slike 5.1 dobijen je kompletan pojačavač čija je električna šema prikazana na slici 6.19.

Kao što se vidi, potenciometar za regulaciju jačine se nalazi iza predpojačavača. To je dobro rešenje ako signal koji se pojačava ima vrlo malu amplitudu, reda veličine nekoliko milivolti. Ovaj mali signal je vrlo osetljiv na šum pa ga treba odmah pojačati, pre bilo kakve dalje obrade. Medjutim ako signal ima amplitudu reda veličine više desetina milivolti, ili veću, postoji opasnost od zasićenja predpojačavača pa je bolje da potenciometar bude na samom ulazu u pojačavač.



Slika 6.19. Kompletan jednostavan audio-pojačavač

Fotografija praktično realizovanog pojačavača je na slici 6.20 a crtež na slici 6.21. Na prvoj pločici sa leve strane su oba predpojačavača, a na sledećoj pojačavač snage. Na slici 6.21 komponente su prikazane svojim simbolima da bi mogla da se lepo vidi i štampa. Zapazite da na njima postoji i po jedan kratkospojnik. Onaj na pločici sa predpojačavačima je prikazan isprekidanom linijom. Pločica sa pojačavačem snage je malo izmenjena pločica iz



Slika 6.20. Fotografija audio-pojačavača sa slike 6.19

prethodnog primera. Dodat je još jedan elektrolitski kondenzator od 2200 F (plave boje) i Grecov usmerač u četvrtastom kućištu (crne boje, desno od dodatog kondenzatora).

Potenciometri za regulaciju jačine su u zajedničkom kućištu, a sa pločicama su povezani oklopljenim kablovima.

U desnom delu slike je mrežni transformator. Njegov sekundar je sa dve žice spojen sa Grecom na pločici pojačavača snage, a sa primara, udesno, idu dve žice ka osiguraču, prekidaču i utikaču koji nisu prikazani. Snaga ovog transformatora je 20 W, a napon sekundara 12 V. Za ostvarivanje pune snage TDA4935 treba korisriti transformator znatno veće snage i sa većim naponom sekundara.

U donjem levom uglu je utičnica za jedan zvučnik, a u donjem desnom delu za drugi. To su utičnice starijeg tipa (koje su se našle "pri ruci") a koje se danas ređe koriste. Odmah do leve utičnice je dvostruka "činč" utičnica preko koje se dovode signali koji se pojačavaju.

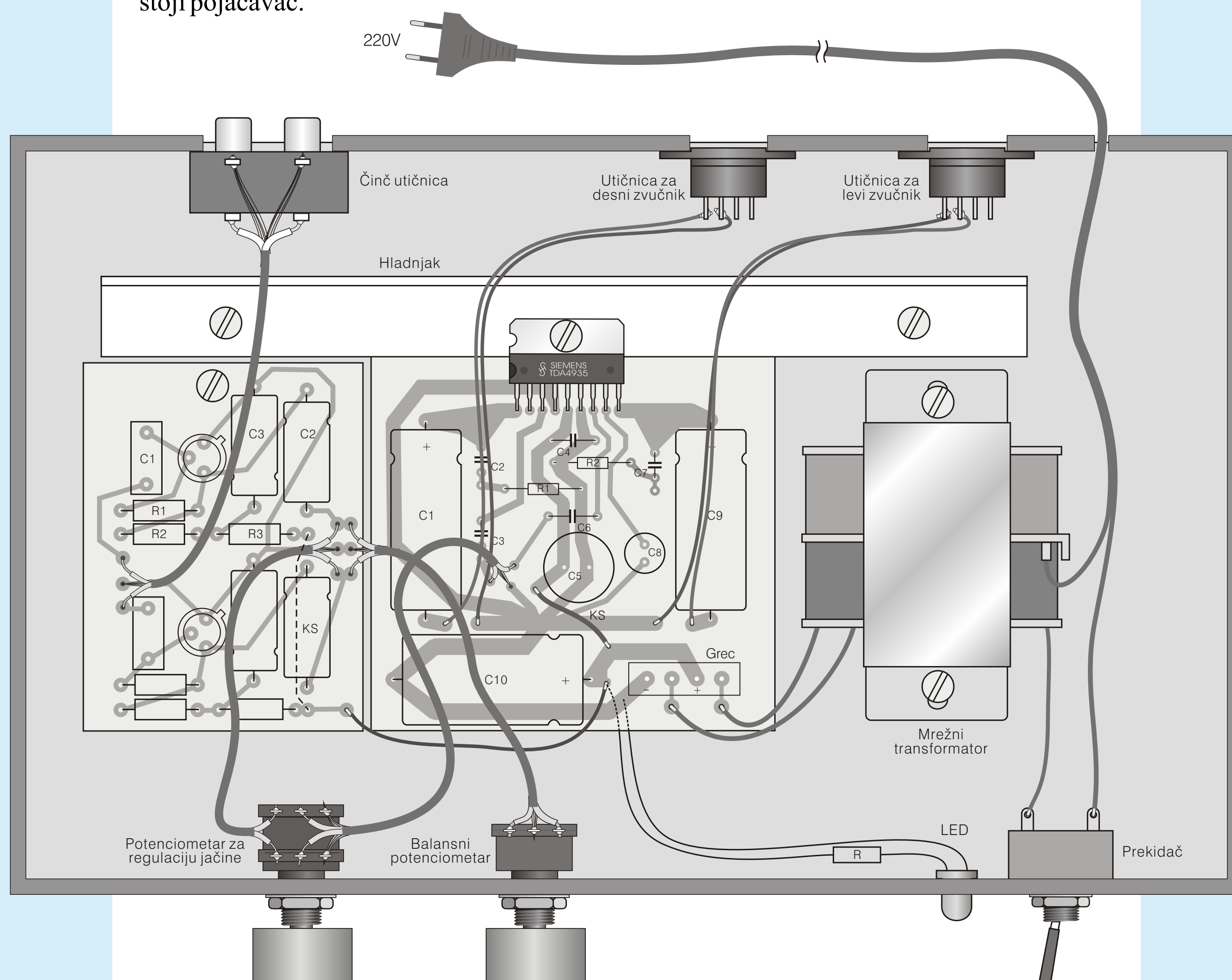
Hladnjak je napravljen od komada aluminijumske ploče debljine 1 mm, mada je bolje koristiti deblji lim, recimo od 4 mm. Ipak, najbolje rešenje je fabrički proizveden rebrasti hladnjak koji se montira na ranije opisan način.

Na slici 6.21 je prikazan jedan od načina na koji pojačavač sa slike 6.20 može da se smesti u kutiju. Na ovoj slici pojačavaču sa slike 6.20 su dodati balansni potenciometar, koji je neophodan za pravilan rad stereofonskog pojačavača, prekidač kojim se pojačavač uključuje i isključuje i LED dioda sa zaštitnim otpornikom *R*. Slika 6.21 je umanjena. Stvarne dimenzije kutije u koju je smešten pojačavač su 19cmX12 cm. To su širina i dubina kutije. Njenu visinu određuje visina mrežnog transformatora.

* R3 i C3 na pločici sa predpojačavačima obrazuju NF filter o kome je bilo reči u tekstu u vezi sa slikom 6.1.

* Hladnjak je pričvršćen za dno kutije pomoću dva zavrtnja i dva odstojnika (distancera) dužine oko 10 mm. Ispod hladnjaka u dnu kutije je izbušeno više rupa kroz koje struji vazduh za hlađenje. U tu svrhu je i u zadnjoj strani kutije izbušeno više rupa. I pločica predpojačavača je takođe, pomoću zavrtnja i odstojnika, pričvršćena za dno kutije.

Da bi vazduh mogao da struji kroz kutiju, na njenoj donjoj strani treba pričvrstiti neke nožice, tako da dno kutije bude izdignuto desetka milimetara iznad površine na kojoj stoji pojačavač.



Slika 6.21. Crtež kompletnog pojačavača sa slike 6.19

FESTINA LENTE ЖУРИ СЕ ПОЛАКО

6.8. 2x4.10a+2x4.1+2x4.12+2x4.3+4.43+5.1=kompletan audio-pojačavač

Električna šema kompletnog audio-pojačavača sa slike 6.22 dobijena je povezivanjem šema sa slika iz naslova ovog projekta.

Ukupno pojačanje napona je:

$$A=48\cdot 0{,}054\cdot 72\cdot 32=6000=75\ \text{dB}.$$

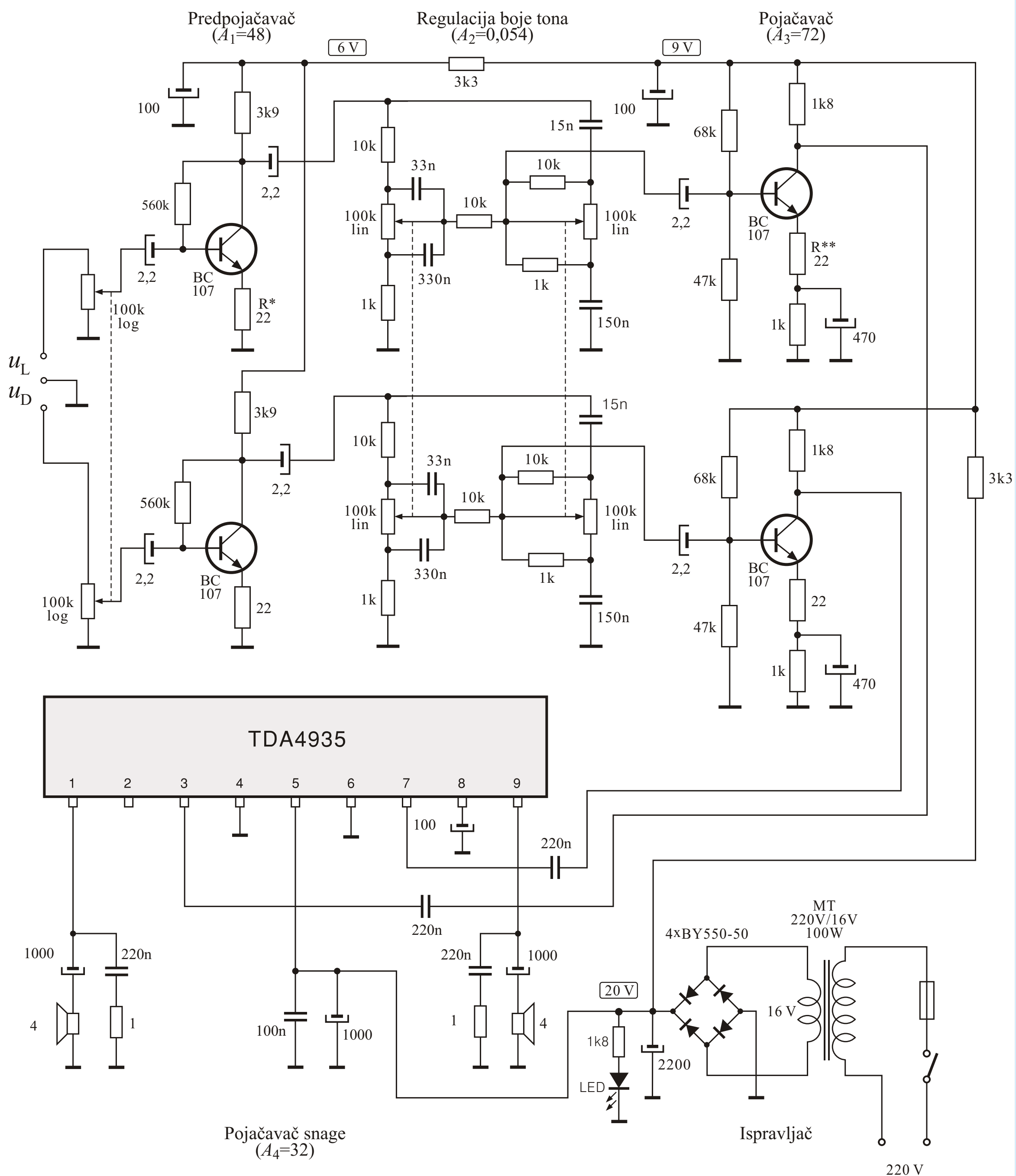
Maksimalna izlazna snaga po kanalu je P_{izmax}=12 W. U tom slučaju napon na zvučniku je

$$U_{izmax}=\sqrt{P_{izmax}\ R_{zv}}=\sqrt{12\ 4}=7V,$$

pa je osetljivost pojačavača:

$$U_{ulmin}=U_{izmax}/A=7\text{V}/6000=1{,}2\ \text{mV}.$$

To je preterano velika osetljivost, pojačavač će da reaguje i na sasvim male napone koji se, pod dejstvom različitih električnih polja, indukuju u provodnicima na ulazu u pojačavač. Da bi se to sprečilo, potrebno je da se pojačavač smesti u metalnu kutiju a ova poveže sa uzemljenjem u šuko utikaču, da veze između komponenta u predpojačavaču budu što kraće i da se za veze sa ulaznom utičnicom i sa potenciometrima koriste mikrofonski kablovi. Ako se ipak pokaže da je pojačanje suviše veliko, ono može da se smanji povećavanjem otpornosti R* i R**. Povećavanjem ovih otpornosti povećava se strujna negativna reakcija što ima svoje dobre strane jer se primenom negativne reakcije smanjuju izobličenja, proširuje frekvencijski opseg, povećava stabilnost pojačavača itd.



Slika 6.22. Kompletan audio-pojačavač

U ovom projektu su date električne šeme, osnovni podaci i fotografije nekoliko pojačavča snage. Sve fotografije su preuzete iz češkog časopisa "*Amaterski* RADIO".

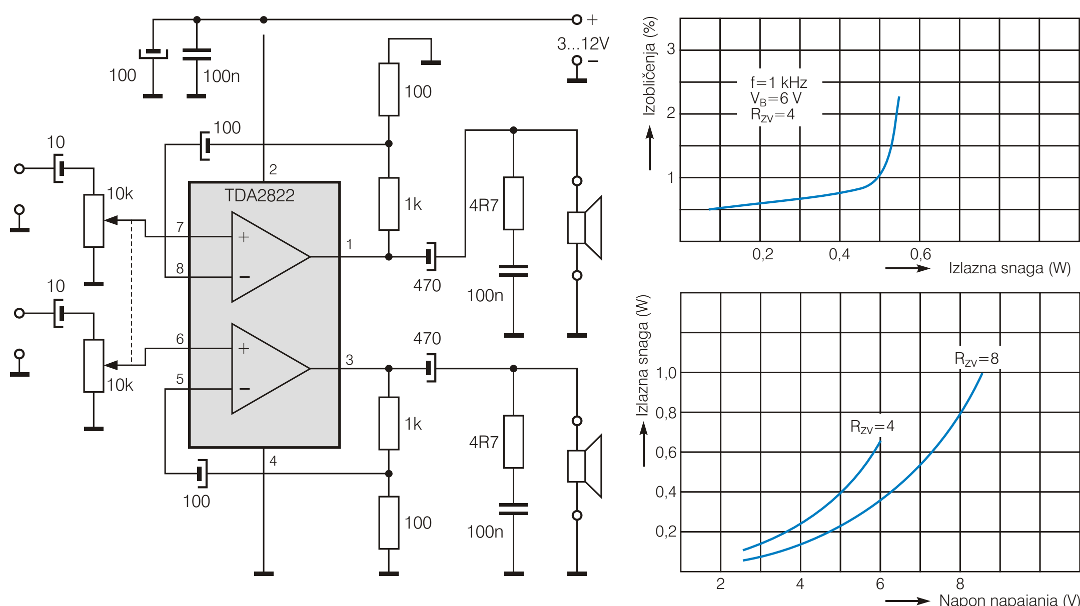
Na slici 6.23 je električna šema pojačavača snage sa kolom TDA2822. Osnovni podaci o pojačavaču su u tabeli, a fotografija pojačavača i izgled štampane ploče su na slici 6.24.

Na slici 6.24-a je izgled dvostrane štampane pločice, levo je pogled na štampane veze sa gornje (TOP) strane, a desno na štampane veze sa donje (BOTTOM) strane. Sve komponente su sa gornje strane, a njihov raspored je prikazan na slici 6.24-b. Fotografija pločice sa komponentama je na slici 6.24-c, a zvučnika na 6.24-d.

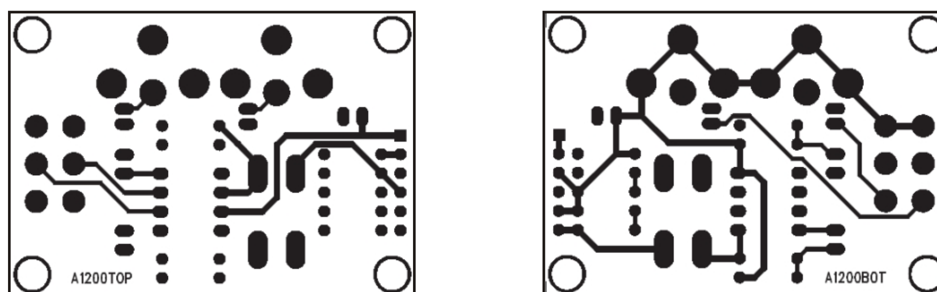
* Slika 6.24-d je umanjena, u stvarnosti zvučnici su znatno većih dimenzija nego što sugeriše slika.

Izlazna snaga........................>500 mW/kanal
Propusni opseg....................20 Hz do 50 kHz
THD+N.........................<0,2 % pri 250 mW
<1 % pri 750 mW
Pojačanje..............................20 dB do 40 dB
Napajanje..................................3 V do 12 V
S/N...............................>80 dB pri A=20 dB

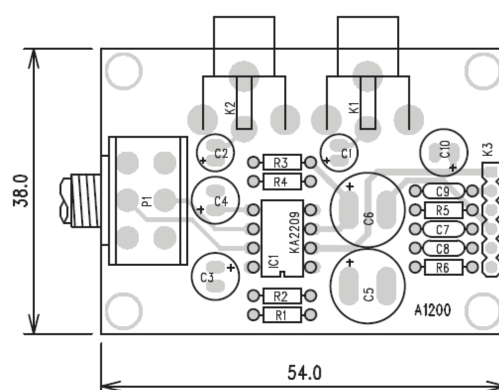




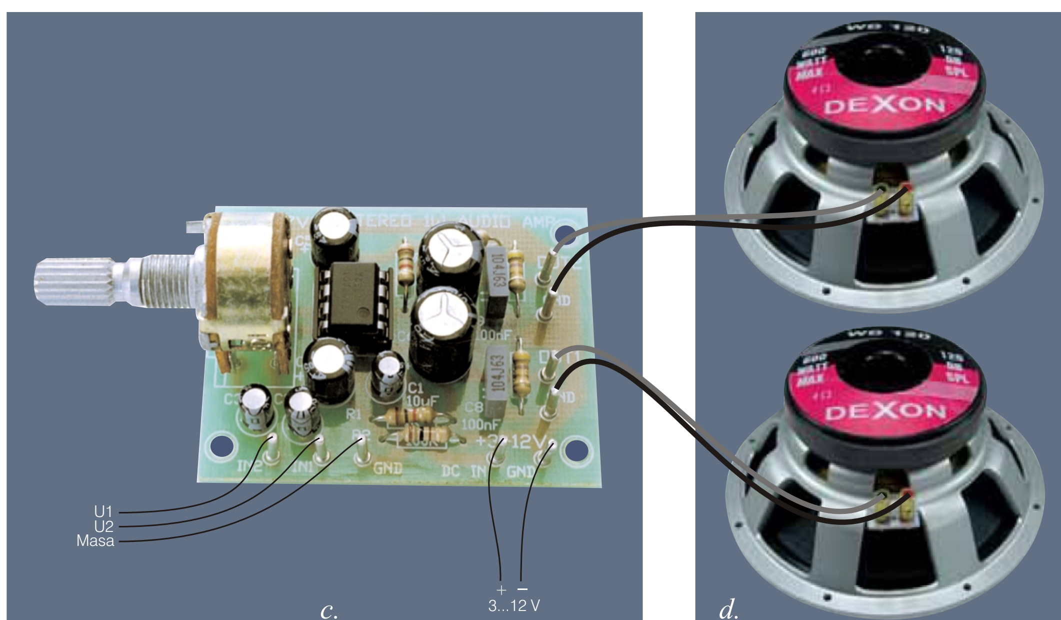
Slika 6.23. Stereo pojačavač snage sa TDA2822



a.



b.



Slika 6.24. Stereo pojačavač sa slike 6.23. a - dvostrana štmpana pločica, b - raspored komponenata, c - fotografija pločice sa komponentama, d - zvučnici

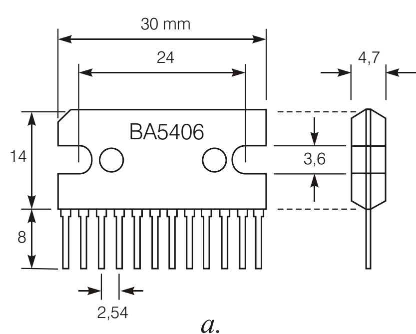
Na slici 6.25 su raspored nožica integrisanog pojačavača snage BA5406, električna šema i tabela sa osnovnim električnim karakteristikma stereofonskog pojačavača snage sa ovim kolom.

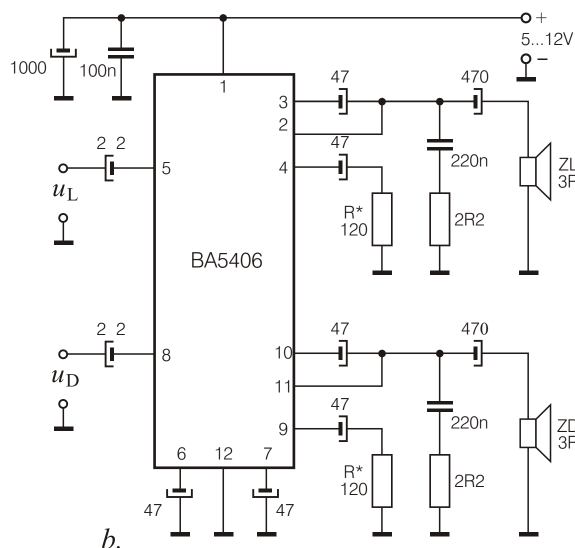
Prema tabeli, tipično pojačanje napona je

$$A=46\text{ dB}=200,$$

pa se puna izlazna snaga od 4,2 W na zvučniku otpornosti 4 ostvaruje pri pobudnom signalu čija je efektivna vrednost U_{ul}=20 mV. Ako tolika osetljivot nije potrebna, pojačanje može da se smanji povećavanjem otpornosti otpornika R*. Ova otpornost ne sme da bude veća od 1 k , tada je pojačanje A=27=29 dB.

Na slici 6.26 je fotografija pojačavča izvedenog po šemi sa slike 6.24-b na dvostranoj štampanoj pločici.





● Recommended operating conditions (Ta = 25°C)

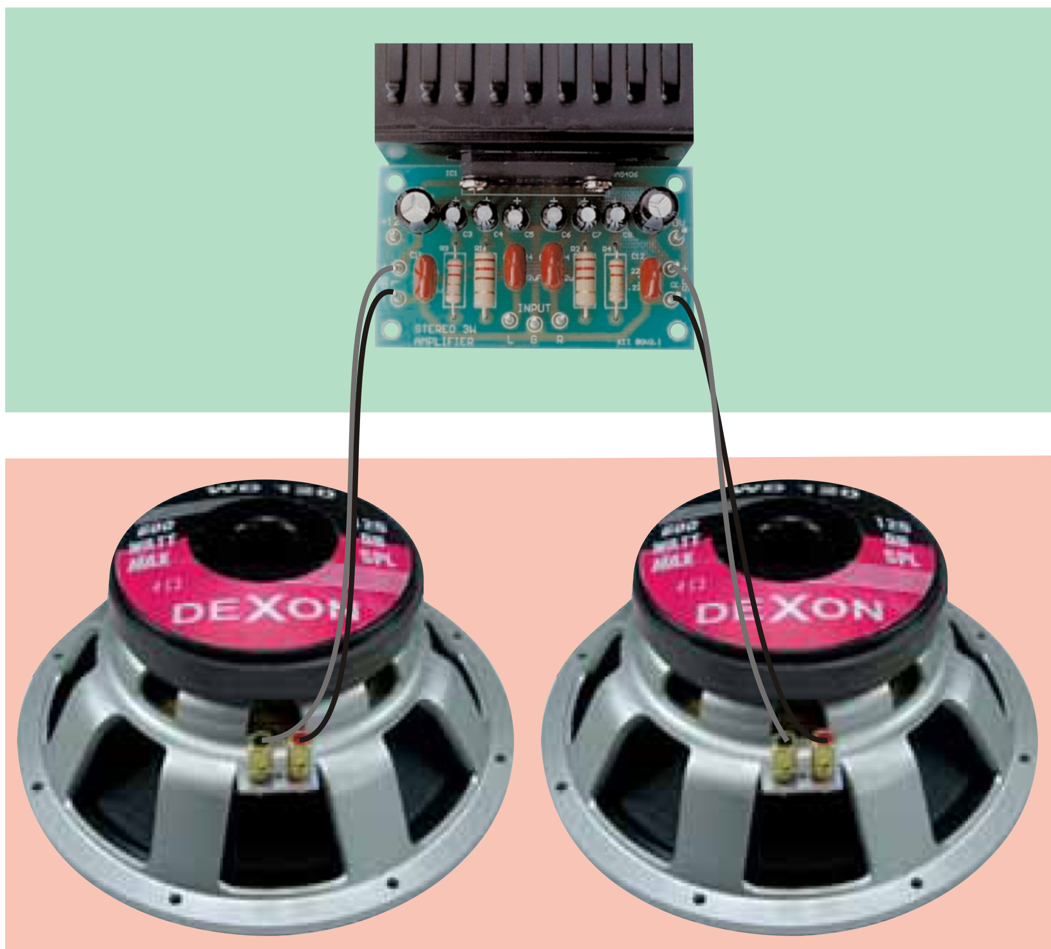
Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit
Power supply voltage	Vcc	5	12	15	V

● Electrical characteristics (unless otherwise noted, Ta = 25°C and Vcc = 12V)

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit	Conditions
Quiescent current	IQ	20	40	70	mA	VIN=0Vrms
Closed loop voltage gain	Gvc	43	46	49	dB	f=1kHz, VIN=−46dBm
Rated output 1	POUT 1	4.0	5.0	—	W	f=1kHz, THD=10%, RL=3Ω
Rated output 2	POUT 2	3.4	4.2	—	W	f=1kHz, THD=10%, RL=4Ω
Total harmonic distortion	THD	—	0.3	1.5	%	f=1kHz, PO=0.5W
Output noise voltage	VNO	—	0.6	1.0	mVrms	Rg=10kΩ
Input resistance	RIN	50	100	—	kΩ	f=1kHz, VIN=5mVrms

c.

Slika 6.25. Stereo pojačavač sa kolom BA5406: a - raspored nožica kola, b - električna šema, c - najvažnije karakteristike



Slika 6.26. Praktična realizacija pojačavača sa slike 6.25-b



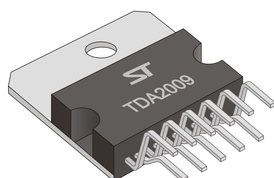
Let's make things better.

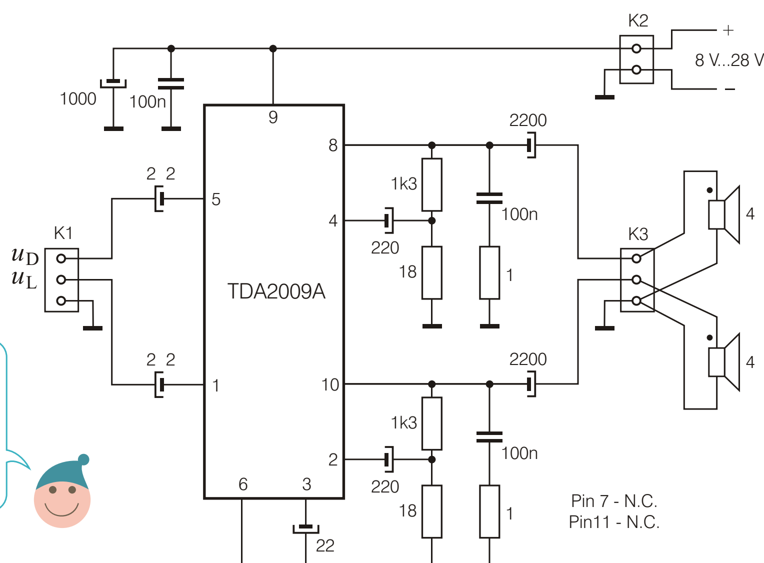
Na slici 6.27 su električna šema i fotografija audio pojačavača sa integrisanim kolom TDA2009A. Dimenzije štampane pločice su 58 mm x 38 mm. Sa K1, K2 i K3 su obeleženi konektori, preko kojih se na pločicu dovode NF signali koji se pojačavaju (K1), napajanje (K2) i priključuju zvučnici (K3).

Hladnjak na fotografiji je dovoljan samo pri manjim izlaznim snagama. Z punu snagu od 2x12,5 W, on mora da je veći.

Osnovne karakteristike pojačavača sa slike 6.27

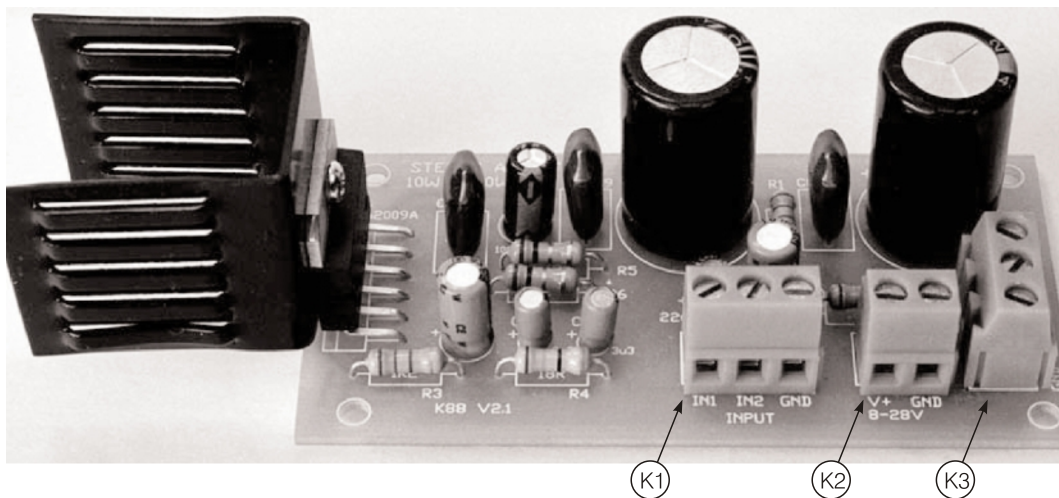
Napajanje	24 V
Izlazna snaga	12,5W/kanal
Propusni opseg	20 Hz do 50 kHz
Izobličenja (THD)	0,2 % pri 7 W
	1 % pri 12,5 W
Pojačanje	36 dB
Propusni opseg	20 Hz do 80 kHz
Ulazna otpornost	200 k
Mirna struja	60 mA





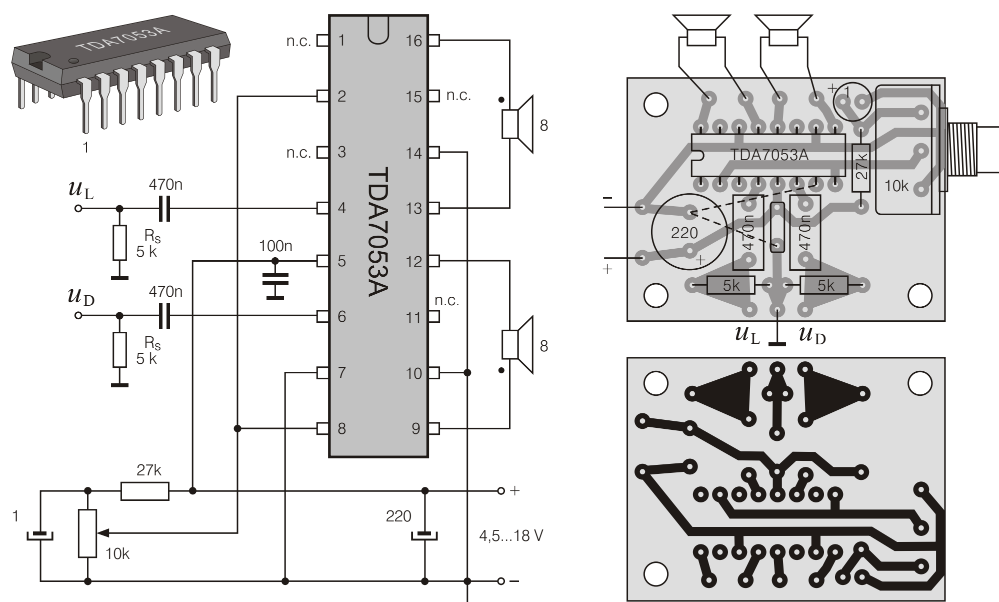
Nožice 7 i 11 se ne koriste. Njih možete i da odsečete sečicama, ako vam to olakšva crtanje štampanog kola i sl.





Slika 6.27. Pojačavač snage sa TDA2009A

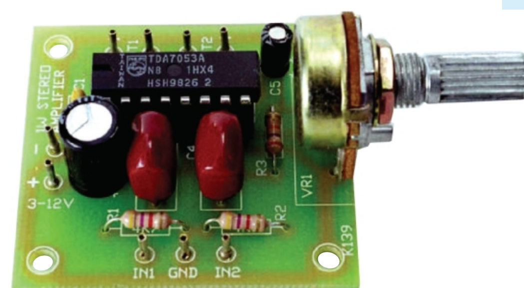
Na slici 6.28 su električna šema i fotografija pojačavača snage sa kolom TDA7053A, o kome je bilo reči u projektu 4.3.15.



Slika 6.28. Pojačavač snage sa TDA7053A

Na slici 6.29 su prikazani štampana pločica i fotografija pojačavača.

Na slici 6.30 je dijagram koji je dobijen pomoću analizatora spektra izlaznog signala. Učestanost ulaznog signala je 1 kHz, a izlazna snaga 0,5 W. Amplituda drugog harmonika je za oko 45 dB manja od amplitude prvog harmonika.



Slika 6.29. Štampana pločica i fotografija pojačavača snage sa TDA7053A

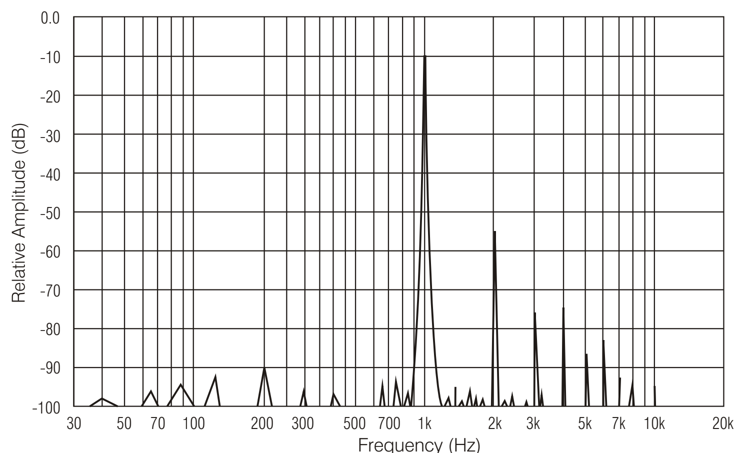
$$20\log\frac{U_1}{U_2} = 45\ dB$$

$$\log\frac{U_1}{U_2} = 2{,}25$$

$$\frac{U_1}{U_2} = 178$$

$$U_1 = 178\ U_2$$

Slika 6.30. Spektar izlaznog signala



7.

DODACI

7.1. Projektovanje štampane ploče

U "*Praktičnoj* ELEKTRONICI 1" pod nazivom "Komponente i praktična realizacija elektronskih uređaja" detljno je opisan postupak projektovanja i izrade jedne jednostavne štampane pločice. Ovde će biti dat kratak opis projektovanja štampane pločice složenijih elektronskih uređaja kakvi su i audio-pojačavači.

Mnogi uređaji, pa i audio-pojačavači, kada se praktično realizuju nemaju tako dobre karakteristike kakve su imali "na papiru". To se naročito odnosi na uređaje sa integrisanim pojačavačima koji imaju veliko pojačanje, širok propusni opseg i veliku ulaznu otpornost. Uzrok lošeg rada audio-pojačavača može da bude i loše projektovana štampana ploča. Kod pravilno projektovane ploče pasivne komponente su logično raspoređene oko integrisanog kola, nema tzv. zatvorenih petlji, bakarne veze su dovoljno široke, a kondenzatori koji predstavljaju kratak spoj za naizmeničnu struju imaju potrebne karakteristike i postavljeni su na odgovarajuća mesta. Osnovne stvari o kojima treba voditi računa pri projektovanju štampane ploče audio-pojačavača su:

*Sve komponente treba tako rasporediti da veze (bakarne linije koje ih međusobno povezuju) budu što je moguće kraće.

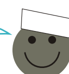
* Voditi računa da bakarne linije preko kojih se signal koji se pojačava dovodi na ulaz integrisanog kola (ili na bazu tranzistora) i bakarne linije kojima se pojačani signal sa izlaza integrisanog kola (ili izlazne elektrode tranzistora) vodi na sledeći stepen, ili na zvučnik, budu što je moguće više udaljene jedne od drugih i da ne budu paralelne. Korisno je i da se, ako je to moguće, između ulaznih i izlaznih bakarnih linija, nalazi bakarna linija koja je spojena sa masom.

* Nožice svih komponenata (otpornika, kondenzatora, tranzistora, itd.) treba da su što kraće. To znači da sve komponente treba montirati što bliže pločici, a višak nožica odseći sečicama.

* Ulazni signal od priključnice na kutiji u koju je smešten pojačavač do štampane ploče treba dovesti preko oklopljenog kabla. Oklopljeni kabl se koristi i za vezu između ploče i potenciometra za regulaciju jačine, balansa i regulaciju boje tona.

* Uzemljenje treba izvesti u "samo jednoj tački", koja je, inače, spojena sa negativnim polom ispravljača. Lep primer takvog uzemljenja je štampana ploča na slici 4.44-b. Kao što se vidi, uzemljenja se zrakasto spajaju u tačku koja je, komadom deblje žice, spojena sa negativnim polom ispravljača. Sa ovom tačkom su, posebnim linijama, spojeni donji krajevi kondenzatora od 220 nF, kondenzatora do 1000 F i 100 F itd. Bakarne linije koje sa masom spajaju nožice 4 i 6, a kroz koje teku velike struje su proširene. Dalje povećanje njihovog strujnog kapaciteta može da se ostvari tako što se na njih lemilicom nanese isloj kalaja.

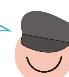
Pogledajte stranu 88.



Izrada štampane pločice detaljno je opisana u knjizi "Praktična realizacija elektronskih uređaja", a u skraćenom obliku u odeljku 7.13.



Provodnici kojima se jednosmerni napon sa ispravljača dovodi na štampanu pločicu treba da su što deblji i što kraći, tako da imaju što manju otpornost.



Šta da se radi ako uzemljenje u jednu tačku nije moguće ostvariti, što je čest slučaj kod složenijih uređaja? Tada na pločici, deo bakarne folije koja će biti povezana sa negativnim polom ispravljača treba da bude što veća, u obliku ostrva koje, negde uže negde šire, prekriva veći deo pločice. Takva je, na primer, pločica sa slike 4.23.

7.2. Proračun hladnjaka

Najvažnija karakteristika svakog hladnjaka koji se koristi za hlađenje nekog integrisanog kola ili tranzistora je njegova toplotna (termička) otpornost $R_{h\text{-}a}$. Tako, na

primer, u Conrad-ovom katalogu za hladnjak sa slike 4.37 dimenzija 88x35x37 mm stoji da mu je termička otpornost 2,8 ^{o}C/W.

Veličina potrebne termičke otpornosti hladnjaka se izračunava po obrascu

$$R_{h\text{-}a}=(t_j-t_a)/P-R_{j\text{-}c}-R_{c\text{-}h},$$

u kome su:

t_j - temperatura kristalne pločice na kojoj je napravljeno integrisano kolo. Ako se temperatura poveća iznad ove vrednosti kolo biva uništeno ili se isključi ako u njemu postoji termička zaštita.

t_a - temperatura okoline (ambijenta) u koju hladnjak zrači toplotu,

$P=0{,}75\cdot P_{izmax}$,

$R_{j\text{-}c}$ - termička otpornost od kristalne pločice do kućišta integrisanog kola, odnosno do rashladnog krilca na kolu, ako ga ima i

$R_{c\text{-}h}$ - termička otpornost od kućišta do hladnjaka.

Podatke t_j i $R_{j\text{-}c}$ daje proizvođač integrisanog kola, a veličinu t_a usvaja korisnik. Obično se usvaja $t_a=60^{o}$C, jer se pretpostavlja da je to maksimalna moguća temperatura vazduha u kutiji u koju je smešten pojačavač. Veličina $R_{c\text{-}h}$ zavisi od toga kako kućište naleže na hladnjak, da li se koristi pasta, da li se koristi podmetač i sl. Obično je $R_{c\text{-}h}=1^{o}$C/W.

Primer:

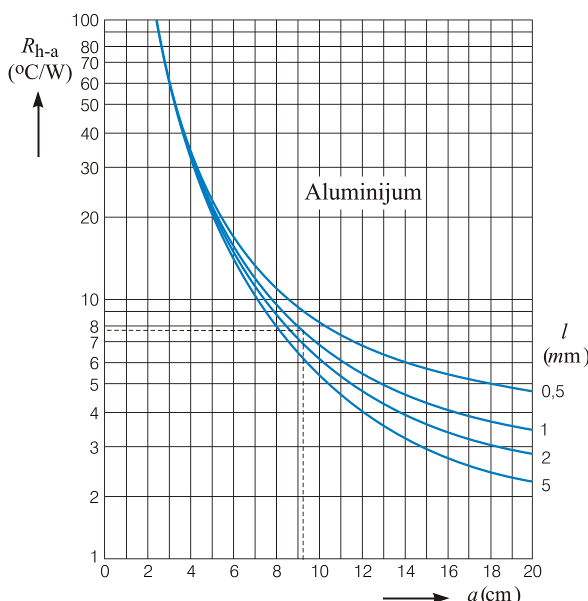
Za kolo TDA1010A proizvođač daje podatke: $t_j=150\ ^{o}$C i $R_{j\text{-}c}=10\ ^{o}$C. Ako je napon napajanja 14,4 V i otpornost zvučnika 2 , tada je, prema tabeli na slici 4.80, maksimalna izlazna snaga $P_{izmax}=6{,}4$ W, pa je $P=0{,}75\cdot 6{,}4$ W$=4{,}8$ W. Ako mi usvojimo da su $t_a=60\ ^{o}$C i $R_{c\text{-}h}=1\ ^{o}$C/W tada je:

$R_{h\text{-}a}=(150-60)/4{,}8-10-1=7{,}75\ ^{o}$C/W.

Sada treba pogledati katalog proizvođača hladnjaka i pronaći hladnjak koji ima termičku otpornost 7,75 ^{o}C/W, a odgovara nam po dimenzijama i ceni.

Postoji i mogućnost da sami izradimo hladnjak od aluminijumskog lima. Za pronalaženje njegovih dimenzija treba koristiti dijagram sa slike 7.1.

U našem primeru ($R_{h\text{-}a}=7{,}75$ ^{o}C/W), pa ako koristimo lim debljine 1 mm, biće nam potreban komad čije su dimenzije 9,2cmx9,2cm. Mnogo je praktičnije ako se hladnjak savije tako da zauzima manja prostora, recimo kao na slikama 5.53, 4.61 i sl. Osnovna stvar je da njegova površina ne bude manja od izračunatih 9,2^{2} cm^{2}.



Slika 7.1. Zavisnost termičke otpornosti aluminijumske ploče u obliku kvadrata od dužine stranice kvadrata

Oni amateri koji imaju više poverenja u eksperiment nego u komplikovane proračune, za proračun termičke otpornosti hladnjaka koriste jednostavnu formulu

$$R_{h\ a}=\frac{50}{\sqrt{A}},$$

u kojoj je A površina hladnjaka u kvadratnim centimetrima.

U našem primeru je $R_{h\text{-}a}=7{,}75\ ^{o}$C/W, a to se, prema prethodnoj formuli, ostvaruje hladnjakom u obliku ploče čija je površina

$$A=(50/R_{h\text{-}a})^2=(50/7{,}75)^2=42\ \text{cm}^2,$$

što je znatno manje od površine izračunate pomoću dijagrama na slici 8.1.

Temperatura silicijumskih tranzistora i integrisanih kola ne bi trebalo da je mnogo veća od 100 ^{o}C. Mnogi od njih lepo rade i na višim temeperaturama, ali je bolje da se sa tim ne eksperimentiše, a još bolje je i da oni rade na nižim temperaturama.

Dodirnite hladnjak prstom i ako možete da izdržite to je siguran znak da je sa hlađenjem sve u redu.

7.3. Zvučnici

O zvučnicima, kutijama u koje se oni smeštaju, skretnicama, itd. napisano je stotine knjiga i članaka po raznim časopisima. Ovde će o njima biti mnogo manje reči, samo ono najneophodnije za praktičnu primenu.

Zvučnik je poslednja karika lanca koji predstavlja kompletan audio-pojačavač, a svaki lanac je jak onoliko koliko je jaka njegova najslabija karika. Ne vrede mnogo kvalitetan mikrofon, gramofon, CD plejer, pa ni audio-pojačavač, ako se na njegov izlaz priključi zvučnik koji nema odgovarajuće karakteristike. Osnovne su *snaga i otpornost* zvučnika.

7.3.1. Snaga zvučnika

Snaga zvučnika se određuje po pravilu "ŠV-TB" (Što Veća - To Bolje). To praktično znači da na audio-pojačavač čija je maksimalna izlazna snaga, recimo, 5 W može da se priključi zvučnik čija je snaga jednaka ili veća od 5 W. Može li zvučnik čija je snaga 50 W? Može, samo se ne treba nadati da će izlazna snaga biti veća, ona će biti onolika kolika je snaga pojačavača, a to je u našem slučaju 5 W, ali će reprodukcija biti kvalitetnija.

Usko povezana sa snagom zvučnika je i njegova efikasnost. To je broj manji od jedan koji pokazuje koliki se deo električne energije koju pojačavač predaje zvučniku pretvara u akustičku energiju. Po pravilu, što god su dimenzije zvučnika manje, manja je i njegova efikasnost, pa zvučnike malih dimenzija, naročito one minijaturne, ne treba koristiti gde god to nije neophodno. Čak i u prenosnim uređajima treba koristiti zvučnike većih dimenzija jer će tada, uz istu izlaznu snagu pojačavača, reprodukcija biti glasnija i kvalitetnija, pogotovu u oblasti niskih učestanosti.

Šta bi bilo ako bi na pojačavač priključili zvučnik čija je snaga manja od maksimalne izlazne snage pojačavača? Jednostavno, kao i u slučaju svih komponenata koje su preopterećene, zvučnik bi pregoreo. To može da se izbegne ako se pomoću dugmeta za regulaciju jačine podesi da izlazna snaga pojačavača bude manja od snage zvučnika, ali je to vrlo teško proceniti sluhom.

Zumirajte

Da li može zvučnik snage 50 W da se priključi na izlaz pojačavača snage 10 W? Može, bez ikakvih štetnih posledica. Jedina stvar o kojoj mora da se vodi računa je otpornost zvučnika, ona ne sme da bude manja od vrednosti propisane za taj pojačavač.

A može li obrnuto, zvučnik od 10 W na pojačavač od 50 W? Može, ali treba biti vrlo obazriv. Jačina reprodukcije ne sme da bude veća od vrednosti kojoj odgovara izlazna snaga od 10 W, što se teško procenjuje čulom sluha. Ako se znatno, ili manje, ali na duže vreme, premaši 10 W, pozdravite se sa zvučnikom.

7.3.2. Otpornost zvučnika

Otpornost zvučnika treba da je onolika kolika je naznačena na električnoj šemi pojačavača snage. To je najčešće 4 ili 8 , ali postoje i zvučnici većih otpornosti.

Može li na pojačavač koji je projektovan za zvučnike od 4 da se priključi zvučnik veće otpornosti? Može, ali će tada maksimalna izlazna snaga pojačavača biti onoliko puta manja koliko je otpornost zvučnika veća.

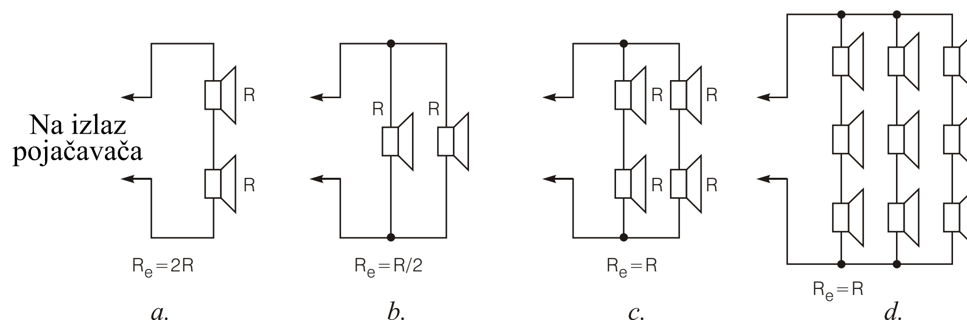
A obratno, može li da se priključi zvučnik čija je otpornost manja od predviđene? Može, ali nije preporučljivo jer postoji opasnost da pregori ili pojačavač snage ili ispravljač ili zvučnik. Ako baš mora da se priključi, treba biti veoma obazriv i potenciometrom za regulaciju jačine podesiti da izlazna snaga pojačavača ne bude veća od snage zvučnika.

Ako je potrebna neka posebna veličina otpornosti zvučnika, to može da se ostvari rednim ili paralelnim vezivanjem zvučnika standardnih otpornosti. O tome će biti reči u sledećem poglavlju.

7.3.3. Povezivanje zvučnika

Više zvučnika se smešta u istu kutiju i povezuje u celinu u dva slučaja: a) da bi se ostvarila veća snaga i b) da bi se dobio ekvivalentni zvučnik koji pokriva celo čujno područje. Snaga ekvivalentnog zvučnika je uvek jednaka zbiru snaga upotrebljenih zvučnika, a njegova otpornost zavisi od načina na koji su zvučnici povezani.

a) Na slici 7.2-a je prikazano kako se rednim vezivanjem dva ista zvučnika otpornosti *R* dobija ekvivalentni zvučnik dva puta veće snage i dva puta veće otpornosti. Na primer, ako vam je potreban zvučnik čija je snaga 20 W a otpornost 8 , a na raspolaganju su



Slika 7.2. Povezivanje zvučnika: a - na red, b - u paralelu, c i d - mešovito

vam dva zvučnika snage 10 W i otpornosti 4 , povežite ih po šemi na slici 7.2-a i dobićete šta vam je potrebno.

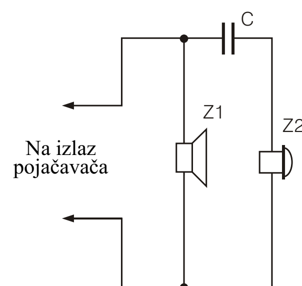
U obrnutom slučaju kada raspolažete sa dva zvučnika čija je otpornost, recimo, 8 , a potreban vam je zvučnik otpornosti 4 , vežite ih u paralelu, kao na slici 7.2-b i dobićete ekvivalentni zvučnik dva puta veće snage i dva puta manje otpornosti.

Moguće je koristiti i redno-paralelno vezivanje, kao na slici 7.2 - c. Na primer, ako su na toj slici otpornost svih zvučnika 4 a snaga 15 W, sva četiri zvučnika se ponašaju kao jedan zvučnik otpornosti 4 , snage 60 W.

Na slici 7.2-d je prikazano kako je autor ovih redova pre više godina, u vreme kad se teško dolazilo do kvalitetnih zvučnika velike snage, rešio problem jednog bas gitariste kome je bio potreban zvučnik od 120W/4 . Na tržištu je bilo zvučnika od 15W/4 i njihovim vezivanjem prema slici 9.1-d dobijen je zvučnik od 135W/4 , što je bilo bolje nego što je trebalo.

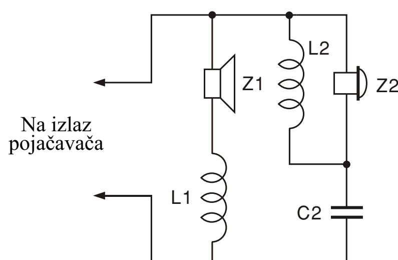
b) Da bi se ostvarila Hi-Fi reprodukcija, zvučnik treba da bude sposoban da reprodukuje sve tonove čije se učestanosti nalaze u opsegu od 20 Hz do 15 kHz. Na žalost, takav zvučnik ne postoji. Zvučnici koji dobro reprodukuju niske i srednje učestanosti nikako, ili vrlo slabo, reprodukuju tonove visokih učestanosti, i obrnuto, zvučnici koji dobro reprodukuju tonove visokih učestanosti vrlo loše reprodukuju tonove niskih i srednjih učestanosti. Zato se kvalitetne zvučne kutije prave tako što se u istu kutiju ugrađuju dva zvučnika, jedan za niske i srednje i drugi za visoke učestanosti, koji se povezuju u paralelu. Ali to nije jednostavno povezivanje kao na slici 7.2-b. Pored zvučnika koriste se i tzv. električne skretnice. To su električni filtri čija je uloga da signale (struje) niskih i srednjih učestanosti usmere u jedan, a signale visokih učestanosti u drugi zvučnik, tako da svaki od zvučnika reprodukuje tonove za koje je "specijalizovan".

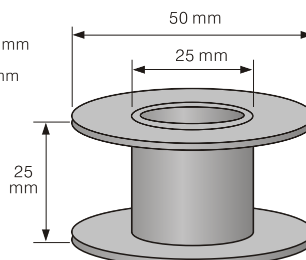
Najjednostavnija električna skretnica može da se ostvari pomoću samo jednog kondenzatora, C na slici 7.3-a. Struje visokih učestanosti preko C odlaze u visokotonac Z2. Za struje niskih i srednjih učestansti rektivna otpornost kondenzatorra C je znatno veća od otpornosti Z1, pa struje tih učestanosti teku kroz Z1. Veličina kapacitivnosti ovog kondenzatora zavisi od otpornosti i graničnih učestanosti zvučnika, a nalazi se u granicama od nekoliko mikrofarada do nekoliko desetina mikrofarada, i može da se nađe eksperimentom.



7.3-a. Najjednostavnija električna skretnica

Električna šema složenije, ali i bolje, skretnice, koja se sastoji od dva kalema i jednog kondenzatora, prikazana je na slici 7.3-b. Kalemovi se motaju bakarnom, lakom izolovanom žicom prečnika 1 do 2 mm (što zavisi od snage pojačavača) na kalemskom telu od debljeg kartona napravljenog prema skici na slici.

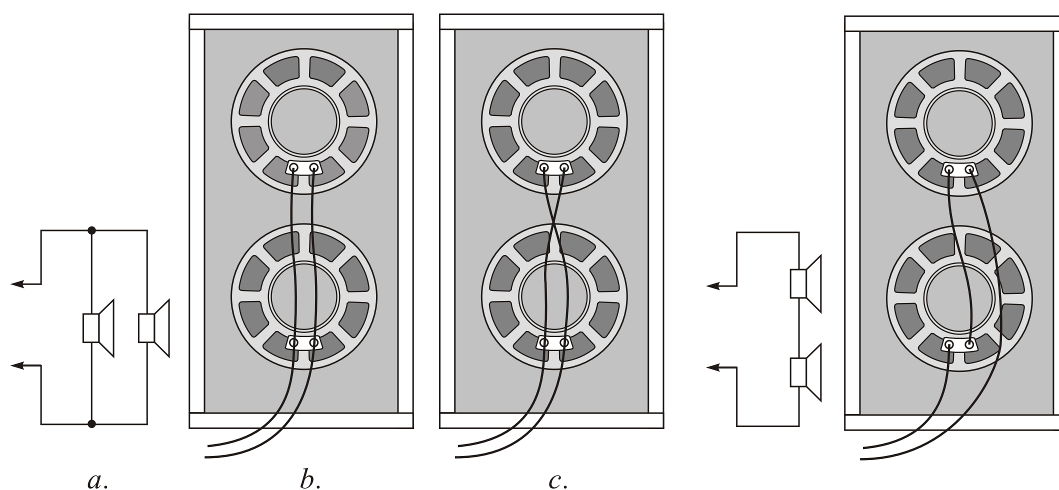




7.3-b. Električna skretnica

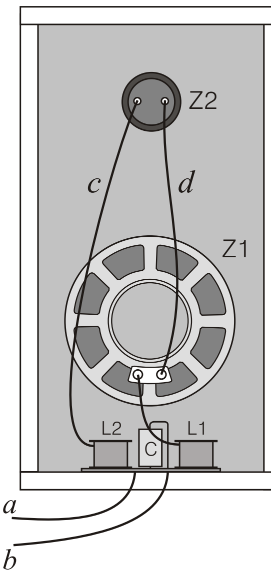
Pored zvučnih kutija sa dva zvučnika (kao na slici 7.3), postoje i zvučne kutije sa tri zvučnika: za niske, za srednje i za visoke učestanosti. I oni su međusobno povezani odgovarajućim elektronskim skretnicama.

Pri svakom povezivanju više zvučnika, bilo onom na slici 7.2 ili onom na slici 7.3, treba obratiti pažnju da svi zvučnici budu u fazi. To znači da pri radu, membrane svih zvučnika treba da se zajedno kreću napred-dnazad. Nikako ne sme da se dozvoli da neke membrane idu unapred, a neke druge, u isto vreme, idu unazad, jer se tada zvučni pritisci koje ovi zvučnici stvaraju međusobno poništavaju, što dovodi do velikog smanjenja jačine reprodukcije.



Kao primer, na slici 7.4 je prikazano pravilno i nepravilno povezivanje dva zvučnika vezanih u paralelu. Na slici 7.5 je prikazano ispravno povezivanje zvučnika vezanih na red.

Lako je pravilno povezati dva ista zvučnika kao što su to oni na slikama 7.4 i 7.5. Šta da se radi ako su u pitanju dva (ili više) zvučnika različitih konstrukcija, kao što su oni na slici 7.6? Jednostavno, povežite ih kako bilo, a zatim između ulaznih provodnika kojima se zvučna kutija priključuje na izlaz pojačavača, kratkotrajno priključite bateriju od 1,5 V. Posmatrajte membrane zvučnika, sve treba da se pomere ili unapred ili unazad. Ako se jedna od membrana pomera u suprotnom pravcu, zamenite mesta žicama koje su zalemljene na ušice tog zvučnika i sve će biti u redu. Kao primer, na slici 7.6 je prikazan pogled u unutrašnjost kutije u kojoj su smešteni zvučnici i skretnica sa slike 7.3-b. Baterija od 1,5 V, kojom se proverava ispravnost povezivanja, se kratkotrajno priključuje između provodnika *a* i *b.* Ako se jedna membrana kreće u napred a druga u nazad, treba odlemiti žice *c* i *d*, pa žicu *c* zalemiti za desnu, a žicu *d* za levu ušicu gornjg zvučnika.



7.6. Faziranje različitih zvučnika

O fazi mora da se vodi računa i pri izradi dve zvučne kutije za stereofonski audio-pojačavač. Zvučnici u obe kutije, kao i same kutije, treba da su potpuno isti. Ako se u svakoj od kutija koristi dva, ili više, zvučnika, svi moraju da budu u fazi, o čemu je već bilo reči. Pored toga, i zvučne kutije moraju da međusobno budu u fazi. Pogledajmo to na jednom primeru. Recimo da smo dve zvučne kutije izradili prema slici 7.6. Žice *a* i *b* su, radi lakšeg snalaženja, različitih boja, recimo *a - crvena* i *b - crna*. Zvučne kutije postavimo jednu pored druge i (pomoću žica *a* i *b)* ih priključimo na pojačavač. Na ulaz pojačavača priključimo izvor audio-signala i slušamo neko vreme. Zatim jedan zvučnik otkačimo. Ako je jačina zvuka u prostoriji postala slabija, sve je u redu. U suprotnom, ako se je jačina povećala, u jednoj kutiji treba zameniti mesta žicama *a* i *b*.

Sve ovo može da se obavi i jednostavnije. Spojite obe crvene i obe crne žice, pa između njih kratkotrajno priključite bateriju od 1,5 V. Ako je sve u redu, membrane svih zvučnika, u obe ku tije, pomeriće se u istom smeru.

O fazi se vodi računa i pri povezivanju fabrički izrađenih stereofonskih pojačaača i zvučnih kutija. To je sasvim jednostavno jer su žice koje izlaze iz kutija u PVC izolaciji različitih boja, najčešće crvene i crne, a istih boja su i plastične poluge koje se pritiskaju i otpuštaju kada se vrh žice ugura u otvor tzv. terminala.

Zumirajte

7.4. Provera i puštanje pojačavača u rad

1. U stvaranju knjige učestvuje više ljudi, od kojih svako, uključujući i autora, može da pogreši, naročito pri crtanju električne šeme i štampane pločice. Izostavljanje samo jedne tačke koja pretstavlja spoj na električnoj šemi je greška koja može u potpunosti da onemogući rad pojačavača. Slično je i sa crtežom štampane pločice, izostavljanje samo jedne bakarne linije skoro sigurno znači da taj pojačavač neće da radi. Zato prvo, koliko možete, proverite električnu šemu, a zatim sa njom uporedite štampanu ploču. Na primer, ako su na električnoj šemi spojena tri otpornika, na crtežu štampane ploče mora da postoji bakarna linija koja spaja stopice u koje su zalemljeni po jedan kraj svakog od ta tri otpornika. Ista stvar je i sa svim ostalim komponentama. Svi spojevi koji postoje na šemi moraju da postoje i na štampanoj ploči.

2. Kada napravite štampanu pločicu, proverite pomoću ometra ili neke zujalice (jedna od njih je opisana u prvoj knjizi *Praktične* ELEKTRONIKE) da li možda ne postoji spoj između dve vrlo bliske linije, stopice i linije, dve stopice i slično.

3. Proverite da li su svi otpornici dobro zalemljeni i da li imaju potrebne vrednosti.

4. Da li su elektrolitski kondenzatori postavljeni kako treba s obzirom na njihov polaritet (+ i -)? O ovome naročito treba voditi računa kada se radi o kondenzatorima u ispravljaču, kao i drugim kondenzatorima velike kapacitivnosti

5. Proverite da nisu možda zamenjena mesta anode i katode kod dioda ili mesta emitera i kolektora kod tranzistora? Ovakva greška može da se napravi i pri montaži mnogih integrisanih kola, naročito onih u DIL pakovanju. Kod ovih, obratite pažnju na kružić utisnut u telo kola, nožica najbliža njemu je nožica 1.

6. Pre nego što ispravljač povezete sa pojačavačem proverite veličinu jednosmernog napona. On treba da je nešto veći, recimo za oko 20%, od potrebne vrednosti. To je zbog toga što je ispravljač u praznom hodu. Kada ga priključite, poteći će struja, i napon će se, zbog pada napona na diodama i otpornosti namotaja transformatora, smanjiti na potrebnu vrednost.

7. Prvo povezivanje ispravljača sa pojačavačem obavite tako što ćete između njih da ubacite jedan (kod asimetričnog napajanja) ili dva (kod simetričnog napajanja) otpornika otpornosti 50 do 100 , snage nekoliko vati. Posle toga, izvršite potrebna podešavanja i kada se uverite da je sve u redu uklonite pomenute otpornike. O puštanju u rad pojačavača bilo je više reči u nekim od prethodnih projekata.

8. Preporučljivo je, ako je na raspolaganju neki stabilisani ispravljač, da se jedno-

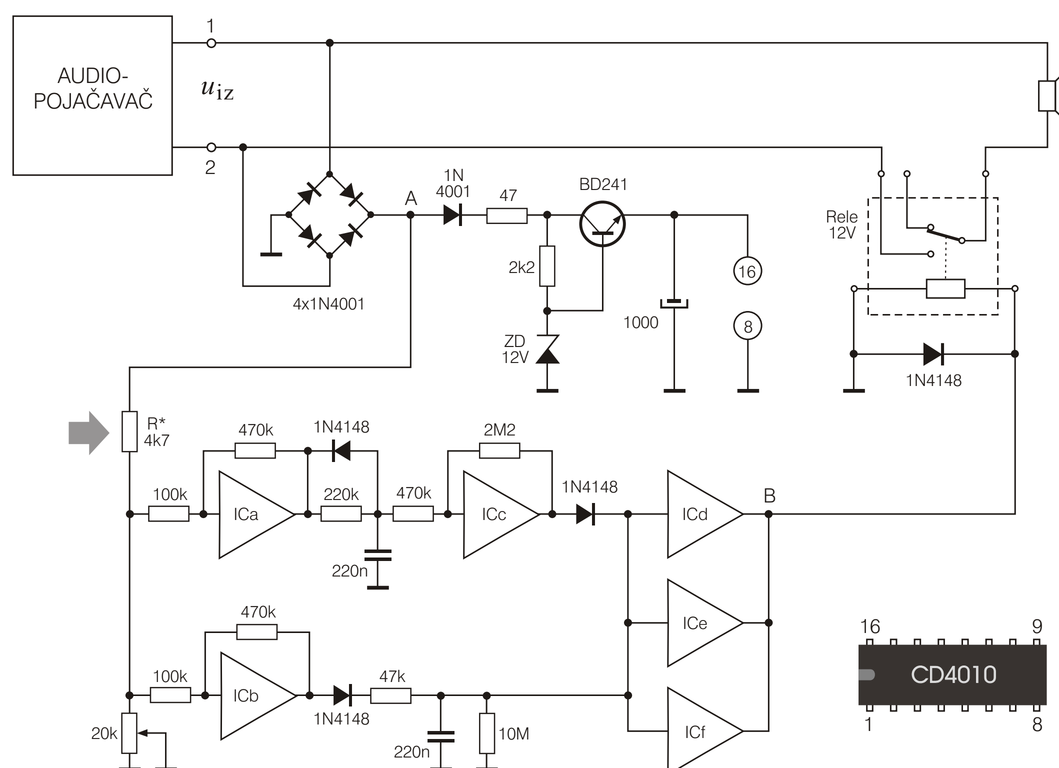
smerni napon napajanja postepeno povećava. Pri tome, treba, pomoću ampermetra, proveravati koliku struju vuče pojačavač.Ona bi trebalo da je, kada se dostigne pun napon napajanja, nešto malo veća od mirne struje pojačavača snage I_0. Ako je jednosmerna struja koju pojačavač vuče iz ispravljača znatno veća od I_0, naročito pri manjim naponima napajanja, to je siguran znak da nešto nije u redu.

7.5. Elektronska zaštita zvučnika

Izuzetno kvalitetni zvučnici su i izuzetno skupi, pa je svakako korisno ako se preduzmu mere da se zaštite od oštećenja. Do oštećenja može da dođe iz dva razloga: prvi je preveliki izlazni signal pojačavača (tako da je izlazna snaga pojačavača veća od snage zvučnika), a drugi je pojava velikog jednosmernog napona na zvučniku (usled kvara u pojačavaču). U oba slučaja u zvučniku pregoreva kalem i on biva uništen. (U takvom slučaju, najbolje je kupiti novi zvučnik, mada postoje i majstori koji znju da razmontiraju zvučnik i zamene oštećeni kalem. Jeda od njih je i, već pominjani, Mića pacov iz "Amigosa".)

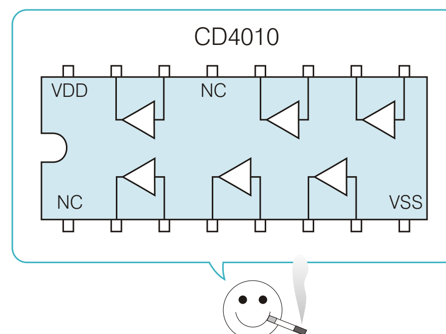
Elektronskim kolom čija je šema prikazana na slici 7.7 ostvaruje se zaštita zvučnika u oba pomenuta slučaja. Kao što se vidi, zvučnik je na pojačavač priključen preko relea, koje je, dok je sve u redu, zatvoreno i pojačavač normalno radi. Kada nastane alarmantna situacija, tj. kada se na izlazu pojačavača pojavi veliki jednosmerni ili naizmenični napon, rele se otvara i odvaja zvučnik od pojačavača.

NF signal sa izlaza pojačavača se ispravlja Grecovim usmeračem i stabiliše jednostavnim stabiizatorom sa tranzistorom BD241. Stabilisani jednosmerni napon se koristi za napajanje logičkog kola CD4010. U ovom kolu se nalazi šest neinvertujućih pojačavača (bafera) koji su obeleženi sa *ICa ... ICf.* Kada se na izlazu pojačavača, između tačaka



7.7. Kolo za elektronsku zaštitu zvučnika

1 i 2, pojavi bilo jednosmerni bilo naizmenični napon, kiji su veći od neke unapred definisane veličine, u tački A se pojavi dovoljno veliki jednosmerni napon, koji aktivira Šmitova okidna kola. U tački B se dobija jednosmerni napon koji aktivira rele, kontakti relea se otvaraju i zvučnik biva isključen.



Kontrola preopterećenja se vrši pomoću potenciometra od 20k. Kolo je najosetljivije na preopterećenje kada je klizač potenciometra u krajnjem donjem položaju. Zaštita u tom slučaju reaguje pri u_{iz}=10 V. Pomeranjem klizača na gore osetljivost kola se smanjuje, tako da, kada je otpornost između kilzača i gornjeg kraj potenciometra 2 k kolo reaguje pri u_{iz}=19 V. To znači da, ako se koristi zvučnik otpornosti 8 , zaštita može da se podesi u opsegu od 12,5 W do 45 W, ako se koristi zvučnik od 4 , u opsegu od 25 W do 90 W. Veće snage mogu da se postignu sa većim vrednostima otpornika R*. Dva puta manje vrednosti izlaznog napona se

ostvaruju korišćenjem relea za 6 V.

* Štampano kolo sa svim komponentama se ugrađuje u kutiju sa zvučnikom.

* Provera rada je vrlo jednostavna. Na ulaz kola, bez zvučnika, između tačaka 1 i 2, se dovede jednosmerni napon od, recimo 15 V. Klizač se iz svog krajnjeg gornjeg položaja pomera nadole dok rele ne "škljocne".

7.6. Oklopljeni (širmovani) kabl

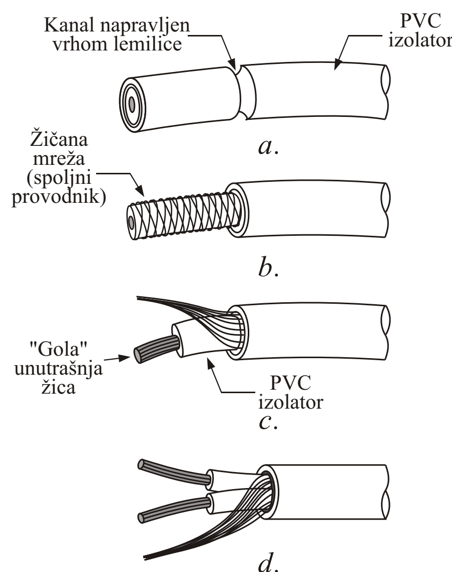
Svaki električni provodnik u obliku žice predstavlja manju ili veću (što zavisi od njegove dužine) prijemnu antenu u kojoj se, pod dejstvom elektromagnetnih polja koja stvaraju razni radio-predajnici i razni električni uređaji i aparati, indukuju električni naponi. Ovi naponi, kada se pojačajaju, čuju se u zvučniku kao pucketanje, brujanje, šuštanje, itd. Zbog toga sve bakarne linije koje spajaju komponente, kao i nožice svih komponenata, treba da su što je moguće kraće. To naročito važi za pretpojačavač. U tom smislu, kao veza između utičnice na kutiji audio-pojačavača (u koju se, preko odgovarajućeg kabla i utikača, dovodi signal koji se pojačava) i štampane ploče ne može da se koristi obična bakarna žica. U tu svrhu koristi se oklopljeni (širmovani) ili, kako se često naziva, mikrofonski kabl. Najjednostavniji oklopljeni kabl ima dva provodnika: unutrašnji u obliku obične bakarne žice izolovane PVC izolacijom i spoljašnjeg u obliku mreže od tanke žice ispletene oko unutrašnjeg provodnika.

Postupak obrade krajeva oklopljenog kabla prikazan je na slici 7.8. U spoljnom plastičnom (PVC) omotaču kabla, na rastojanju od oko 1 cm od kraja, se vrhom lemilice, "ureže" u krug kanal koji dopire do žičane mreže (slika 7.8-a). Zatim se taj deo izolacije, pažljivo, da se ne ošteti mreža, skine pomoću sečica ili, ako vam to ne smeta, noktima palca i srednjeg prsta. Sada kabl izgleda kao na slici 7.8-b: na "svetlo dana" se pojavio spoljni provodnik u obliku mreže. Vrhom šila ili nekog sasvim malog šrafcigera, mreža se rasprede i sve žice se upredu zajedno, kao na slici 7.8-c. Vrhom lemilice se na izolaciji unutrašnjeg provodnika takođe ureze kanal i deo izolacije skine tako da se, u dužini od nekoliko milimetara, pojavi "gola" unutrašnja žica. Vrhovi unutrašnje žice i upredene mreže se kalajišu, i kabl je spreman za ugrađivanje.

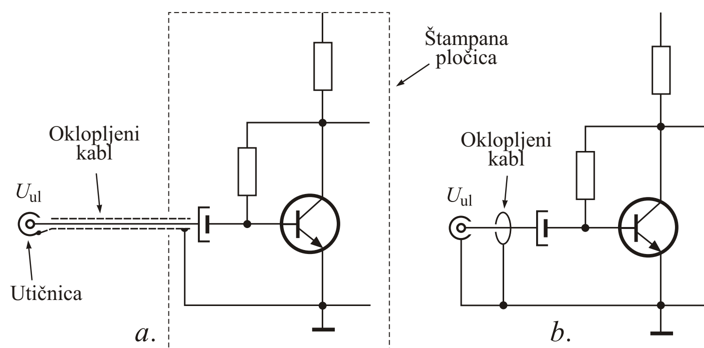
Na slici 7.8-d je prikazan obrađen kraj kabla koji ima dva unutrašnja provodnika smeštena unutar zajedničkog žicanog omotača, koji se koristi u stereofonskim uređajima.

Pri korišćenju oklopljenog kabla treba voditi računa da samo jedan kraj spoljnog provodnika, ili početak ili završetak, bude povezan sa masom, kao što je urađeno na slici 11.3-a. Ovde je utičnica montirana na kutiju od izolacionog materijala, a potreban spoj sa masom je ostvaren preko spoljnog provodnika kabla. Ali, ako je utičnica montirana na metalnoj kutiji, a ova se obavezno spaja sa masom, tada vezu između spoljnog provodnika i utičnice treba prekinuti.

Na slici 7.9 su prikazna dva načina na koji se oklopljeni kabl prikazuje na šemama,



7.8. Obrada krajeva oklopljenog kabla



Ako rastojanje između tačaka koje se povezuju nije veće od oko 10 cm, veza može da se ostvari i običnim žicama.

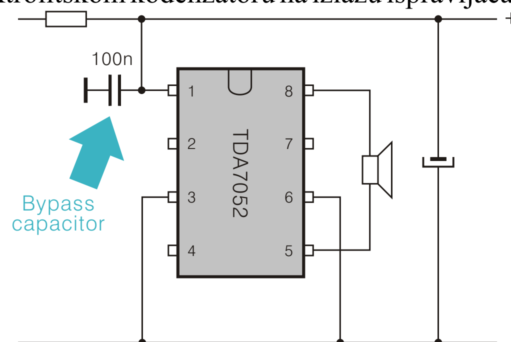


7.9. Šematske oznake oklopljenog kabla

7.7. Bajpas (bypass - premošćenje) kondenzator

Na mnogim crtežima električnih šema pojačavača sa integrisanim kolima, da bi slika bila jednostavnija, ne prikazuje se mrežni deo uređaja (ispravljač) i bajpas kondenzator. Ali, prikazan ili ne, bajpas kondenzator je uvek neophodan. U tu svrhu koristi se ili keramički disk kondenzator kapacitivnosti od 47 do220 nF, ili tantalski kondenzator kapacitivnosti 1 F. Nožice ovog kondenzatora treba da su što kraće a jedan njegov kraj se lemi u stopicu koja

treba da je što je moguće bliža i spojena sa stopicom u koju se lemi nožica integrisanog kola na koju se dovodi pozitivan jednosmerni napon iz ispravljača. Drugi kraj kondenzatora se lemi u stopicu koja je povezana sa masom, tj. sa negativnim polom ispravljača. Kao što se vidi, bajpas kondenzator je vezan paralelno elektrolitskom kodenzatoru na izlazu ispravljača ali ne bilo gde već što je moguće bliže integri/-sanom kolu. Na slici 6.28 bajpas kondenzator je kondenzator od 100 nF, spojen jednim krajem sa nožicom broj 5.



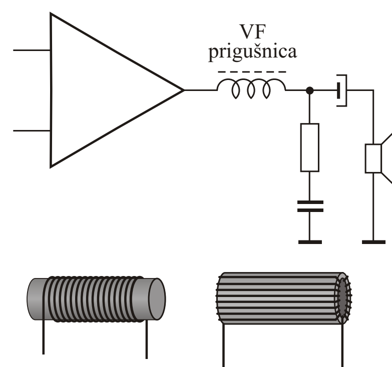
Ako u uređaju postoji više integrisanih kola, svakom od njih treba dodati poseban bajpas kondenzator, mada, po nekad, posao vrši i samo jedan zajednički. Kada ovih kondenzatora nema, to se manifestuje kao oscilovanje pojačavača. Ako je učestanost oscilacija niska to se čuje kao zvuk vrlo sličan brodskom dizel motoru (motorboating), nešto kao "*plamp, plamp, plamp*, ...". U slučaju da je učestanost oscilacija visoka, ništa se ne čuje (ali može da se vidi pomoću osciloskopa), a pojačavač ili radi vrlo loše ili uopšte ne radi.

7.8. Pojačavač, ipak, ne radi stabilno

Pažljivo ste pročitali celu knjigu. Pridržavali ste se svih saveta i napomena datih u različitim projektima, a pojačavač koji ste napravili ipak ne radi dobro, već pokazuje znake nestabilnog rada. Ne očajavajte i ne odustajte. Na vašu nesreću (ili sreću, nikad se ne zna) postali ste jedna od mnogobrojnih žrtava čuvenog Marfijevog zakona: "Ako nešto može da krene loše - krenuće." Evo nekoliko saveta koji će vam, nadamo se, pomoći:

* Smanjite ulaznu otpornost pojačavača na najmanju vrednost pri kojoj on normalno radi. To se ostvaruje tako što se između ulaznog priključka (na mnogim slikama to je tačka obeležena sa U_{ul}) i mase veže otpornik. Za početak probajte sa otpornikom od 100 k , pa, ako problem i dalje postoji, sa 47 k , 33 k , itd. Tako, na primer, ako pojačavač sa slike 6.27 ne radi stabilno, otpornike reba vezivati između levog kraja kondenzatora od 2,2 F i mase.

* Ako pojačavač ne radi dobro zato što osciluje na visokim učestanostima, dodajte između ulaznog priključka i mase mali blok kondenzator. Veličina kapacitivnosti ovog kondenzatora zavisi od veličine otpornosti izvora audio signala koji se pojačava, ali se ona lako nalazi eksperimentom. Počnite sa kondenzatorom vrlo male kapacitivnosti, recimo 22 pF, pa sa većim, sve dok pojačavač ne počne da radi dobro.



7.10. VF prigušnica na izlazu pojačavača

* Efikasno suzbijanje oscilovanja na visokim učestanostima može da se ostvari i tako što se, prema slici 7.10, na red sa zvučnikom veže VF prigušnica. Ona se pravi tako što se na mali štap ili cevčicu od feritnog materijala namota desetak navojaka lakom izolovane bakarne žice prečnika 1-2 mm ili se bakarna žica više puta provuče kroz cevčicu od feritnog materijala.

* U pojačavačima kod kojih je ostvarena negativna reakcija (kod kojih se deo izlaznog signala vraća na invertujući ulaz) treba povećati reakciju (i time smanjiti pojačanje) u oblasti visokih učestanosti. To se ostvaruje tako što se paralelno otporniku koji je spojen sa izlazom pojačavača dodaje blok kondenzator male kapacitivnosti (22 pF, 47 pF, 100 pF... dok pojačavač ne proradi kako treba). Na primer, na slici 6.23, blok kondenzatore treba dodati paralelno otpornicima od 1k, koji su spojeni sa nožicama 1 i 3. Još je bolje ako se ovi kondenzatori spoje sa nožicama 1-8 i 3-5.

* Prečnik žice kojom se mota prigušnica sa slike 7.10 se računa po formuli:

$$d\,(mm) = \sqrt{\frac{I_{zv}\,(A)}{8}}.$$

Na primer, ako je maksimalna veličina struje kroz zvučnik I_{zv}=5 A, prigušnica se mota žicom prečnika:

$$d = \sqrt{\frac{5}{8}} = 0{,}79\,mm$$

7.9. Zašto se preko mog audio-pojačavača čuje program lokalnog radio-predajnika ?

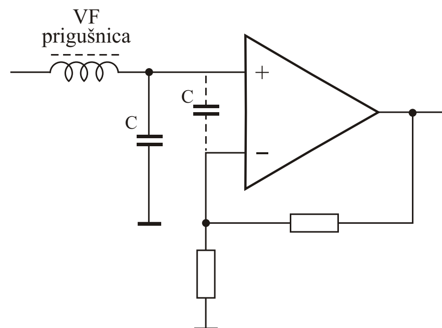
Kao što je već ranije napomenuto, u prostoru u kojem živimo postoje VF (visokofrekventna) elektromagnetska polja koja stvaraju razni radio-predajnici. Pod

dejstvom ovih polja u svim električnim provodnicima (žicama, bakarnim linijama na štampanoj pločici, nožicama tranzistora, otpornika, kondenzatora, itd.) se indukuju VF električni naponi koji su utoliko veći ukoliko su provodnici većih dimenzija. U audio-pojačavačuma koji imaju vrlo veliko pojačanje, ovi električni naponi bivaju pojačani, a pomoću nekog od tranzistora izvrši se detekcija, kojom se iz VF napona izdvaja informacija (govor, muzika) koju radio-predajnik emituje. U daljem delu pojačavača informacija biva pojačana i reprodukovana preko zvučnika.

Ako se i vama desi opisana pojava, evo liste mogućih rešenja problema:

a) Pri konstrukciji štampane ploče trudite se da bakarne veze između komponenata, naročito onih na ulazu pojačavača budu što kraće; za vezu između utičnice i štampane ploče, kao i između ploča, ako ih ima više, koristite oklopljeni kabl (čiji je oklop uzemljen na samo jednom kraju); pri lemljenju se potrudite da to uradite lepo i čisto (kao što je opisano u *Praktičnoj* ELEKTRONICI 2") i vodite računa o uzemljenju, o čemu je već bilo reci.

b) Ako je pojačavač već sagrađen, a iz zvučnika se ipak čuje program neke radiostanice, smanjite ulaznu otpornost pojačavača za VF signale, tako što ćete, prema slici 7.11, između ulaznog priključka i mase da dodate keramički kondenzator C, čija kapacitivnost treba da je što manja ali ne veća od 300 pF, a na red sa ulaznim priključkom VF prigušnicu induktivnosti oko 10 H. Nju možete da napravite koristeći otpornik snage 1 W kao nosač na koji ćete da namotate, u nekoliko slojeva, više desetina navojaka tanke, lakom izolovane, bakarne žice, čije ćete krajeve da zalemite za nožice otpornika. Broj navojaka može da bude znatno manji ako kalem ne motate na otporniku već na malom valjku (ili cevčici) od feritnog materijala.



7.11. Potiskivanje VF smetnji pomoću prigušnice i kondenzatora

7.10. Klasa D

O karakteristikama pojačavača tzv. klase D bilo je reči u projektu 4.3.28. Ovde će, u kratkim crtama, biti izložen njegov princip rada.

Uprošćena električna šema je prikazna na slici 7.12. Izlazni tranzistori T1 i T2 rade kao sinhronizovani prekidači: za vreme jedne poluperiode signala na gejtovima, T1 provodi, a T2 je zakočen, a za vreme sledeće poluperiode je obrnuto, T1 je zakočen, a T2 provodi. Kada je tranzistor zakočen, struja kroz njega je jednaka nuli, a kada je otkočen, napon između sorsa i drejna je vrlo mali, praktično jednak nuli.

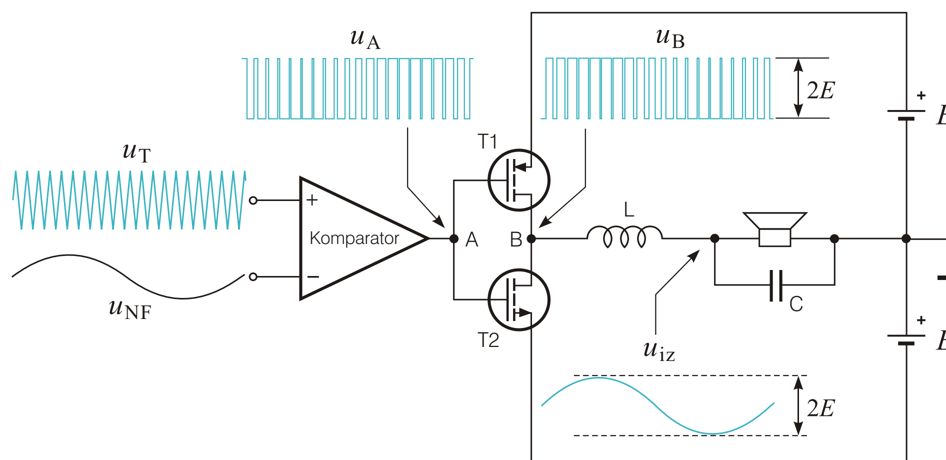
Pojačavač se sastoji od komparatora koji pogoni MOSFET-ove T1 i T2 koji rade kao prekidači. Komparator ima dva ulaza. Na jedan se dovodi trougaoni napon u_T, a na drugi audio signal u_{NF}. Učestanost trougaonog napona mora da bude mnogo veća od učestanosti audio signala. Na izlazu komparatora (između tačke A i mase) dobija se signal (napon) u_A, koji je

$$u_A = -E \text{ za } u_{NF} > u_T \text{ i}$$

$$u_A = +E \text{ za } u_{NF} < u_T.$$

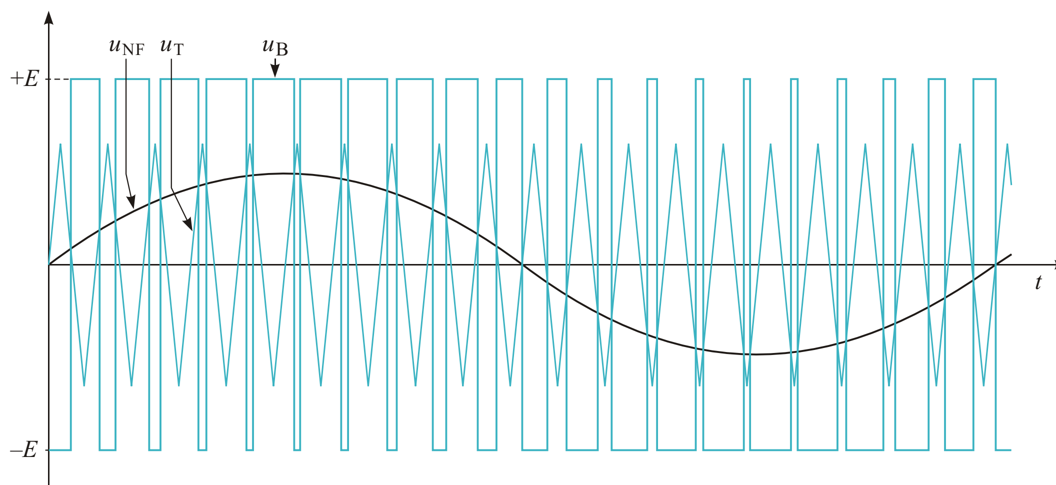
Napon u_A se dovodi na gejtove oba tranzistora, koji rade u spoju zajedničkog sorsa. Kada je $u_A = -E$, T1 se ponaša kao zatvoren prekidač, pa je napon u tački B $u_B = +E$. Kada je $u_A = +E$, *T2* se ponaša kao zatvoren prekidač, pa je $u_B = -E$.

Naponi u_{NF}, u_T i u_B prikazani su na slici 7.13. Na ovoj slici, učestanost trougaonog signala (u_T) je 300 kHz, a učestanost audio signala (u_{NF}) je 15 kHz.



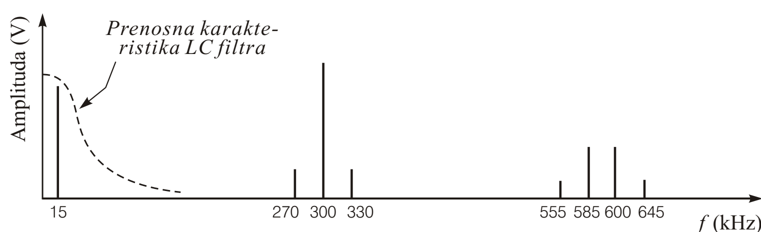
7.12. Uprošćena električna šema pojačavača snage u klasi D

Na slici 7.14 je prikazan spektar signala u_B. Ovaj signal se, preko NF filtra, koji obrazuju kalem L i kondenzator C, prenosi na zvučnik, kao što je prikazano na slici 7.15.

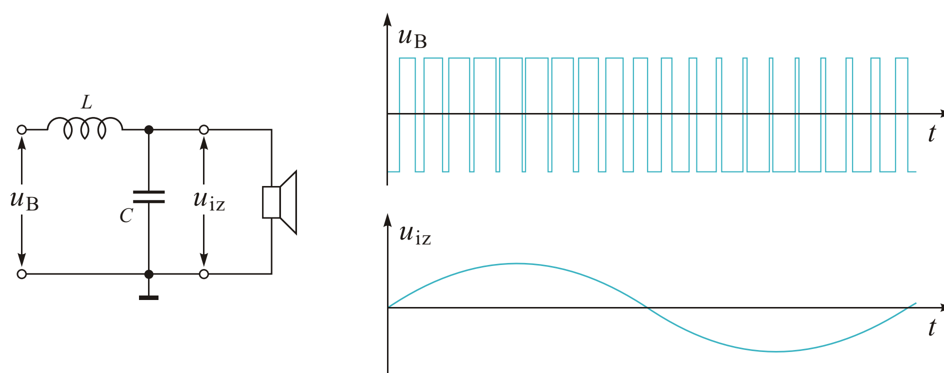


7.13. Talsni oblici signala (napona) u pojačavaču na slici 11.6

Granična učestanost filtra je veća od 15 kHz, a znatno manja od prekidačke učestanosti, pa filtar vrlo efikasno potiskuje sve VF komponene signala u_B, i na njegovom izlazu postoji samo prvi harmonik, a to je napon istog oblika kao audio signal na ulazu. Isprekidana linija na slici je prenosna karakteristika filtra. To je zavisnost odnosa u_{iz}/u_B od učestanosti. Granična učestanost ovog filtra, definisana padom pojačanja od 3 dB, je 30 kHz.



7.14. Spektar signala u_B

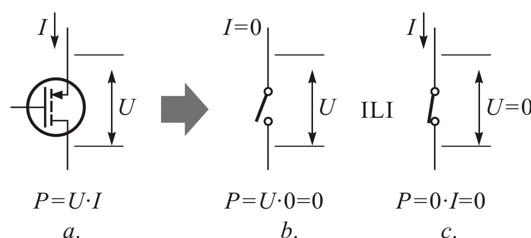


7.15. Filtriranje napona u_B

Tranzistor kao prekidač

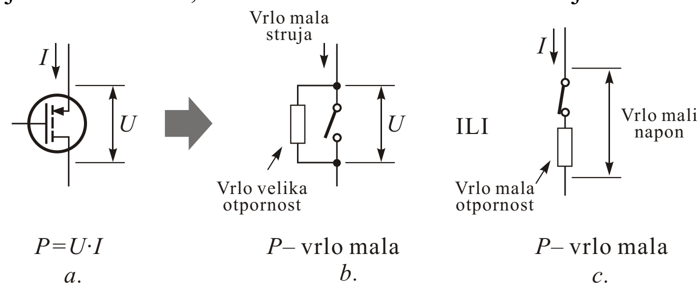
Tranzistor radi kao prekidač kada se na njegovu upravljačku elektrodu dovede dovoljno veliki napon, koji će da ga odvede ili u zasićenje (tada se tranzistor ponaša kao zatvoren prekidač) ili u zakočenje (tada se ponaša kao otvoren prekidač).

Kada se na gejt idealnog MOSFET-a na slici 7.16-a dovede veliki negativan napon, tranzistor se ponaša kao otvoren prekidač na slici 7.16-b, a kada se dovede pozitivan napon, kao zatvoren prekidač na slici 7.6-c. Ako tranzistor posmatramo kao malu električnu grejalicu, njegova snaga je $P=U{\cdot}I$. Ali, kada tranzistor radi kao prekidač, ili je $U=0$ ili $I=0$, pa je $P=0$.



7.16. Idealan tranzistor kao prekidač

U slučaju stvarnog tranzistora (sl. 7.17) situacija je malo drugačija. Ipak, snaga je vrlo mala jer je u slučaju na slici 7.17-b struja I vrlo mala, a u slučaju na slici 7.17-c je napon U vrlo mali. A mala snaga disipacije toplote, kao što kaže onaj što namiguje na slici 4.114, znači da može da se koristi hladnjak malih dimenzija.



7.17. Stvaran tranzistor kao prekidač

Vrlo mala otpornost na slici 7.17-c se naziva otpornost zasićenja. Ona se u podacima koje daju proizvođači tranzistora obeležava sa R_{sat}.



7.11. Aktivno kolo za regulaciju boje tona po oktavi

Oktava je opseg učestanosti kod koga je najviša učestanost dva puta veća od najniže. U muzici najniža oktava je od 27,5 Hz do 55 Hz, sledeća od 55 Hz do 110 Hz, pa od 110 Hz do 220 Hz ... i, na kraju, od 7040 Hz do 14080 Hz. Ukupno postoji devet oktava. U praksi, prilikom različitih obrada zvuka, potrebno je da se regulacija, isticanje ili potiskivanje, tonova vrši samo u okviru jedne oktave, recimo u opsegu od 880 Hz do 1760 Hz. Tipično aktivno kolo za regulaciju po oktavi prikazano je na slici 7.18. To je kolo čija se amplitudska karakteristika značajno menja jednostavnim pomeranjem klizača potenciometra. Kada je klizač u sredini, amplitudska karakteristika je ravna sa pojačanjem A=1=0 dB. Kada se klizač iz srednjeg položaja pomeri ulevo, kolo postaje aktivni filter propusnik opsega učestanosti, a kad se, iz srednjeg položaja pomeri u desno, kolo postaje aktivni filter nepropusnik opsega učestanosti. Karakteristika za slučaj da je klizač u krajnjem levom položaju je na slici 7.19 obeležena sa 1, a karakteristika za slučaj kada je klizač u krajnjem desnom položaju sa 2.

Proračun se vrši tako što se:

1. Usvoje vrednosti otpornosti potenciometra R_5 i maksimalnog pojačanja A_0.

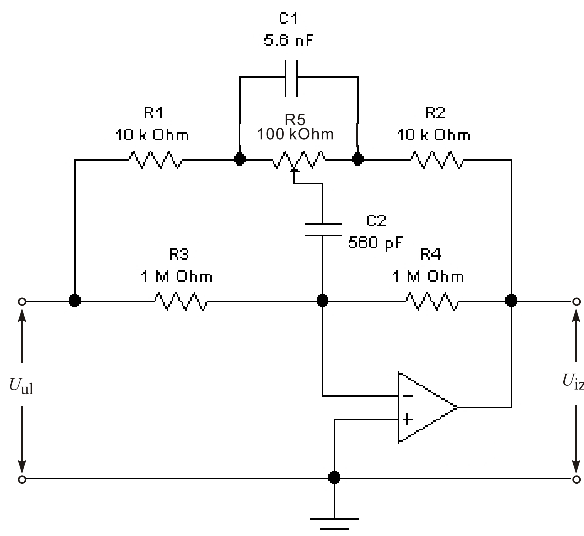
2. Nađe kapacitivnost C_2 iz tabele na slici 7.18, u kojoj je f_0 učestanost na kojoj je pojačanje maksimalno.

3. Izračunaju veličine:

$$C_1=10C_2,$$

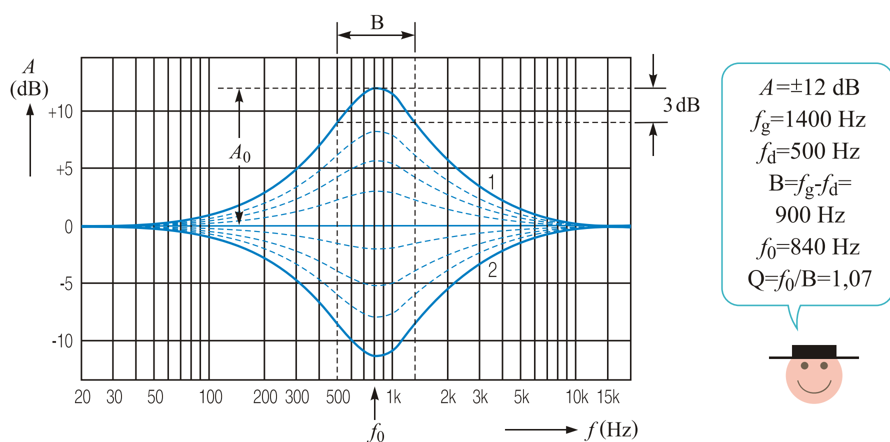
$$R_1=R_2=R_5/(3A_0\text{-}3) \text{ i}$$

$$R_3=R_4=10R_5.$$



f_0 (Hz)	C_2	f_0 (Hz)	C_2
32	18 nF	1000	560 pF
64	10 nF	2000	270 pF
125	4,7 nF	4000	150 pF
250	2,2 nF	8000	68 pF
500	1,2 nF	16000	36 pF

*7.18. A*ktivno kolo za regulaciju boje tona po oktavi



7.19.Karakteristike kola sa slike 11.12

U praksi se najčešće usvaja:

R_5=100 k i A_0=4 , pa su

R_3=R_4=1M i

R_1=R_2=11,1 k ,

i proračun se svodi na uzimanje podataka iz tabele.

Maksimalno pojačanje je dato formulom:

$$A_0 = \frac{R_5}{3R_1} + 1,$$

pa, ako je potrebno, može da se poveća ili smanji menjanjem otpornosti R_5 i R_1. Pri tome treba imati u vidu da se pri povećavanju/smanjivanju pojačanja A_0, smanjuje/povećava propusni opseg B. Postoje, međutim, i šeme po kojima je propusni opseg isti za sve filtre.

7.12. Grafički ekvilajzer

Grafički ekvilajzer je audio Hi-Fi kontrolni uređaj koji korisnicima omogućuje da vide i kontrolišu oblik frekvencijske karakteristike stereofonskog audio-pojačavača. Celokupno audio područje, od 30 Hz do 15 kHz, se deli na određen broj opsega i za svaki od njih koristi posebno kolo za regulaciju, koje je opisano u prethodnom odeljku. Broj opsega se kreće od tri, kod jednostavnijih uređaja za masovnu potrošnju, do čak tridesetjedan, kod profesionalnih studijskih uređaja. Ovde će biti razmatran šema ekvilajzera sa deset kola za regulaciju po oktavi, kojima se vrši isticanje ili potiskivanje komponenata muzike iz deset opsega koji približno odgovaraju muzičkim oktavama. Kada se vrši obrada (pojačavanje, snimanje, direktno emitovanje i sl.) neke muzike koju stvara više izvođača, pa se, iz bilo kog razloga, muzika jednog od njih čuje ili nedovoljno jako ili suviše slabo, ovim kolom to može da se koriguje tako što se u opsegu u kome se nalaze komponente muzike tog izvođača pojačanje smanji ili poveća. Inače, razloga zbog kojih može da dođe do opisane pojave ima više. To su loše akustičke karakteristike prostorije u kojoj se vrši snimanje, loše karakteristike prostorije u kojoj se vrši reprodukcija, loši ili loše postavljeni mikrofoni pri snimanju, nedovoljno kvalitetni zvučnici pri reprodukciji itd. Ekvilajzerom se svi ti nedostaci otklanjaju, tako da je ukupna frekvencijska karakterisitika svih uređaja zajedno, od prostorije u kojoj se muzika izvodi do, da tako kažemo, uha slušaoca, ravna. Ali, slušalac može, a to se najčešće i dešava, da tu ukupnu karakteristiku promeni u skladu sa svojim potrebama i ukusom.

Električna šema grafičkog ekvilajzera sa deset aktivnih kola za regulaciju po oktavi sa slike 7.19 prikazana je na 7.20. Svi otpornici su proračunati uz usvojene vrednosti R_5=100 k i A_0=12 dB, vrednosti C_2 su uzete iz tabele u prethodnom odlejku i C_1 izračunato po obrascu C_1=10C_2. Frekvencije unutar opsega na kojima su pojačanja maksimalna su 32 Hz, 64 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz, 8 k Hz i 16 kHz.

Dva pojačavača u levom gornjem delu slike imaju jedinično pojačanje. To su razdvojni stepeni čija je uloga da spreče uticaj prethodnog i sledećeg stepena na aktivne filtre.

Dvostruki preklopnik služi za uključivanje/isključivanje ekvilajzera iz pojačavačkog lanca.

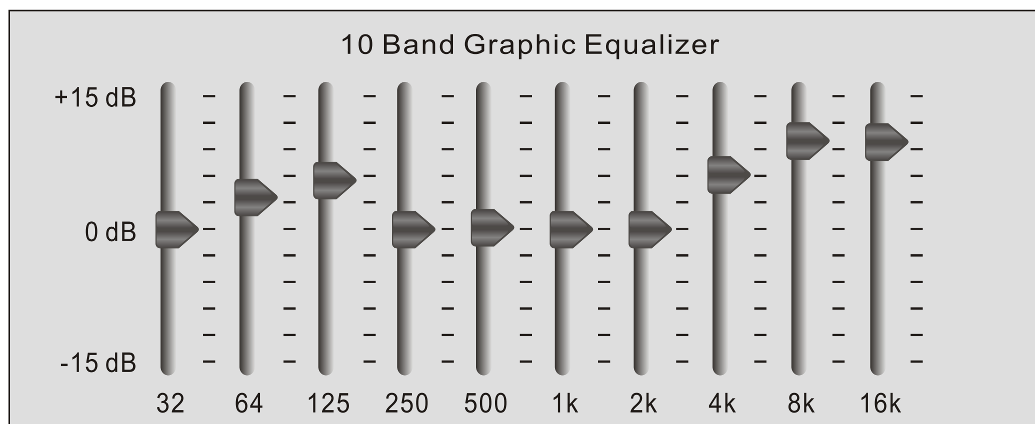
Kompletan ekvilajzer je realizovan sa tri integrisana kola OPA4227. U svakom od njih se nalazi po četiri operaciona pojačavača. Moguće je koristiti i druge operacione pojačavače, pogotovu one sa više od četiri kola.

Potenciometri pomoću kojih se vrši potiskivanje/izdizanje su tzv. klizni, a ne rotacioni i montiraju se na prednju ploču uređaja na način prikazan na slici 7.21. Pomeranjem

klizača nagore pojačanje se povećava, a pomeranjem na dole - smanjuje.

U stereofonskim uređajima postoje dva ekvilajzera, po jedan za svaki kanal, pa na prednjoj ploči postoje, jedna pored druge dve grupe potenciometara sa slike 7.21.

Položaj dugmadi na slici 7.21 daje vizuelnu predstavu o obliku frekvencijske karakteristike uređaja, odakle potiče njegovo ime grafički ekvilajzer.



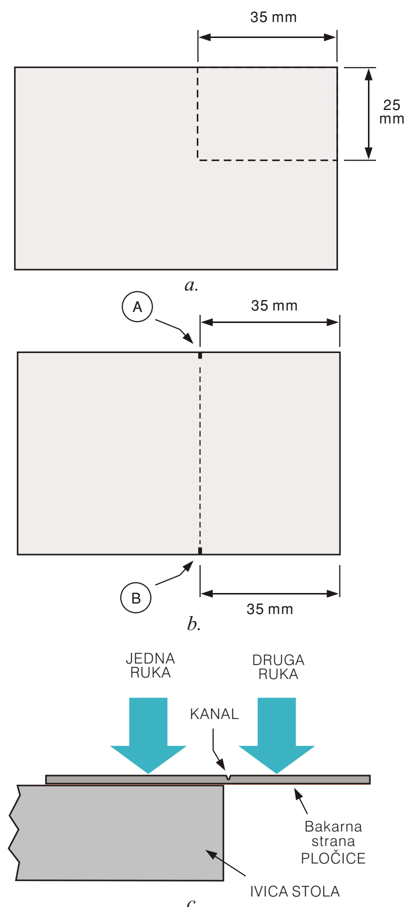
7.21. Prednja ploča gragičkog ekvilajzera

7.20. Grafički ekvilajzer

7.13. Izrada štampane pločice

Projektovanje i izrada štampane ploče detaljno su objašnjeni u *P*.E. 2 ("Praktična realizacija elektronskih uređaja"). Ovde ćemo da razmotrimo kako se pravi ploča čiji je crtež već gotov. Kao primer, uzećemo pločicu čiji je crtež na slici 7.22-a. Njene dimenzije su 35mm x 25mm.

a. Štampano kolo se pravi od kaširanog pertinakasa ili vitroplasta, tj. od tanke ploče (debljine oko 1,5 mm) od izolacionog materijala, na koju je sa jedne strane nanešen tanak sloj bakra. Od ploče kupljene u prodavnici elektronskih komponenata, koja je prikazana na slici 7.21-a, treba odseći deo dimenzija 35 mm x 25 mm. U amaterskim uslovima, sečenje se svodi na prelamanje. Prvo se, prema slici 7.21-b, na strani ploče na kojoj nema bakra, obeleže tačke A i B. Na njih se postavi lenjir, i vrhom šila ili odvrtke nekoliko puta, uz pritiskanje, prevuče od tačke A do tačke B, tako da se u ploči ureže kanal, dubine oko 0,5 mm. (Taj kanal je na slici prikazan isprekidanom linijom). Kad je kanal gotov, ploča se stavi na ivicu stola, kao što je prikazano na slici 7.21-c. Kanal je sa gornje strane, bakarna folija sa donje. Jednom rukom, (dešnjaci levom, levaci desnom), ploča se pritisne uz sto, a drugom pritisne deo koji treba da se odlomi, i on se - odlomi.

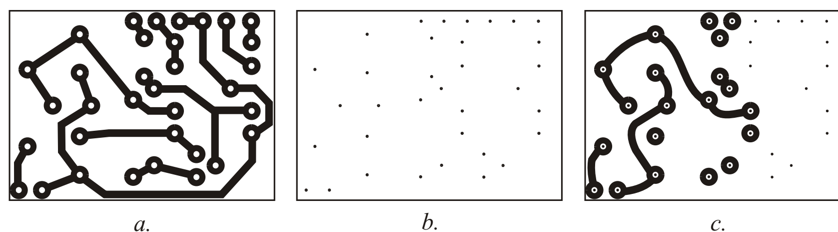


Slika 7.21. "Sečenje" pločice: a - ploča kaširanog pertinaksa, b - obeležavanje, c - lomljenje

Na odlomljenom komadu se ureže novi kanal na rastojanju od 25 mm, i odlomi komad dimenzija 35mm x 25mm. To je naša pločica.

b. Bakar mora da bude potpuno čist i sjajan, jer se samo u tom slučaju nagrizanje i, kasnije, lemljenje obavlja i brzo i lako i dobro. Ako vam se čini da je on već dovoljno čist, verovatno niste u pravu. Ploča je u radnji provela neko vreme i površina bakra je sigurno manje ili više korodirala. Čišćenje se najefikasnije obavlja pomoću nekog praškastog sredstva za čišćenje (VIM, Elektron i sl.) koje se u domaćinstvima koristi za čišćenje šporeta, sanitarija itd., ali savim dobri su i soda bikarbona, deterdžent za pranje rublja, pa i kuhinjska so i sl. Uzmite komad krpe, nakvasite je vodom pa dobro iscedite i zgužvajte je u oblik loptice. Lopticu zamočite u prašak i njime trljajte bakarnu površinu, dok ne "sine k'o u gori sunce". Posle toga, pazite da bakarnu površinu ne dodirujete prstima, inače ćete je isprljati.

c. Pločicu, sa bakrom na gore, stavite ispod lista hartije na kome je nacrtano štampano kolo, tačno ispod crteža. U našem primeru to je crtež na slici 7.22-a. Pazeći da se pločica ne pomeri, vrhom šila se probode hartija kroz centre svih stopica. Pri tome, šilo se dobro pritisne, tako da na bakarnoj površini ostaju dobro uočljivi ubodi. Kad se sa ovim završi, pločica treba da izgleda kao na slici 7.22-b: na njoj treba da bude onoliko uboda koliko ima stopica. Ako na crtežu ima mnogo stopica, pločica će se ipak pomeriti, i tada sve treba početi od početka. U takvim slučajevima sliku štampe treba kopirati, iseći je i pomoću dva komada lepljive trake zalepiti je na pločicu.



Slika 7.22. Precrtavanje ampane pločice: a - crtež, b - pločica sa ubodima šila, c - crtanje stopica i linija

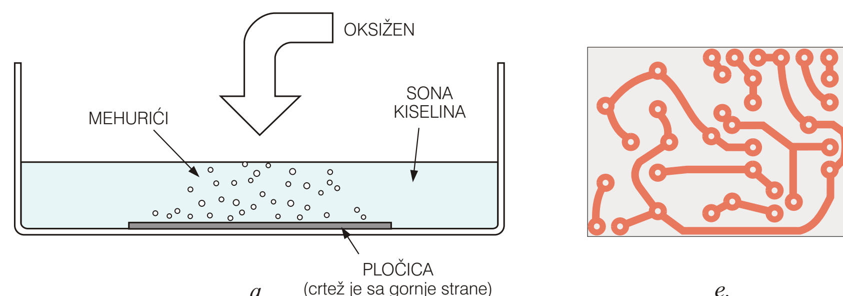
d. Crtanje stopica i linija na pločici obavlja se pomoću flomastera otpornog na kiseline. On se prepoznaje po tome što miriše na alkohol i prodaje se u knjižarama kao "flomaster za pisanje po staklu". Proverite ga, napišite (u knjižari, posle je kasno) nešto na staklu, plastici i sl., sačekajte par sekundi, pa probajte da to obrišete vrhom prsta. Ako se ne skida - flomaster je OK. Ipak, ova proba nije 100% sigurna, mnogo je sigurnije ako flomaster kupite u prodavnici elektronskih komponenata. (Naravno, naglasite prodavcu da vam je potreban flomaster za crtanje štampanih kola). Vrhom flomastera, oko svakog uboda na pločici nacrtajte kružić prečnika između dva i tri milimetra. Flomasterom radite lagano, tako da sloj

boje koja ostaje na pločici bude što deblji. Pazite da oko svakog uboda ostane malo ostrvo od bakra. Zatim, gledajući sliku 7.22-a, pažljivo i polako, nacrtajte i sve linije. One ne moraju da imaju potpuno isti oblik kao linije na slici 7.22-a, pogotovo ne moraju da budu onako "izlomljene". Debljina linija je oko jednog milimetra, ali ni to nije obavezno, one mogu da budu i malo tanje i mnogo deblje (gde je to moguće). Bitna stvar je da se tokom crtanja ne spoje susedne stopice ili linije, odnosno da se ne ostvare spojevi i veze kojih na crtežu nema. Ako se to ipak desi, žiletom ili nekim malim oštrim odvrtačem ostružite viškove boje. Na slici 7.22-c je prikazan početak crtanja, nacrtano je nekoliko stopica i nekoliko linija. Crtanje štampe je gotovo kada na bakarnoj foliji imate sliku istu kao slika 7.22-a.

e. Sledeći korak je nagrizanje, odnosno odstranjivanje bakra koji nije pokriven bojom sa pločice. Za to se koristi mešavina hlorovodonične kiseline (HCl), oksižena (H_2O_2 - vodonik peroksid) i vode (H_2O). Ne koristi se čista hlorovodonična kiselina već njen 35% rastvor koji se prodaje pod nazivom sona (ili solna) kiselina, a koristi se u domaćinstvima za čišćenje kada, lavaboa i sl. Vodonik peroksid se, pod imenom oksižen, prodaje u apotekama, parfimerijama i kozmetičkim radnjama. Prodaje se u koncentraciji od 30% (superoksid), ili manjim (8 - 12%).

Sona kiselina i oksižen su dosta agresivne tečnosti, naročito opasne za oči i sluzokožu, pa pri radu sa njima treba biti oprezan. Najbolje je da sa njima radite u kupatilu, ili nekom mestu u neposrednoj blizini tekuće vode. Ako vam neka od ovih tečnosti kapne na ruku, neku metalnu alatku ili odevni predmet, odmah ih operite vodom.

Mešavina se pravi neposredno pre nagrizanja, a po završenom nagrizanju se baca. Na dno suda od plastike, stakla, porculana i sl. stavi se pločica sa bakrom na gore, i sipa sona kiselina tako da prekrije pločicu (sl. 7.23-a). Zatim se u nju dodaje oksižen, koji se iz flaše sipa direktno iznad pločice. Količina oksižena koji se dodaje zavisi od njegove koncentracije, kao i od koncentracije kiseline. Znači, sipajte malo oksižena, podignite malo levi pa desni kraj posude, da se tečnosti izmešaju, i posmatrajte pločicu. Smeša je providna, i ako bakar posle desetak sekundi počne da menja boju, nagrizanje je počelo. Pri tome iz tečnosti izlaze mehurići kojih treba da bude malo više nego u čaši sveže kisele vode. Ako je mehurića malo, dolijte još oksižena. Pri dolivanju, pazite da ne preterate, jer ako mehurića ima previše, tečnost će početi da se zagreva i može da uništi boju. S vremena na vreme, ušiljenim štapićem od drveta ili plastike, podignite jedan kraj pločice, tako da tečnost koja je bila na površini pločice sklizne, i na njeno mesto dođe nova tečnost.



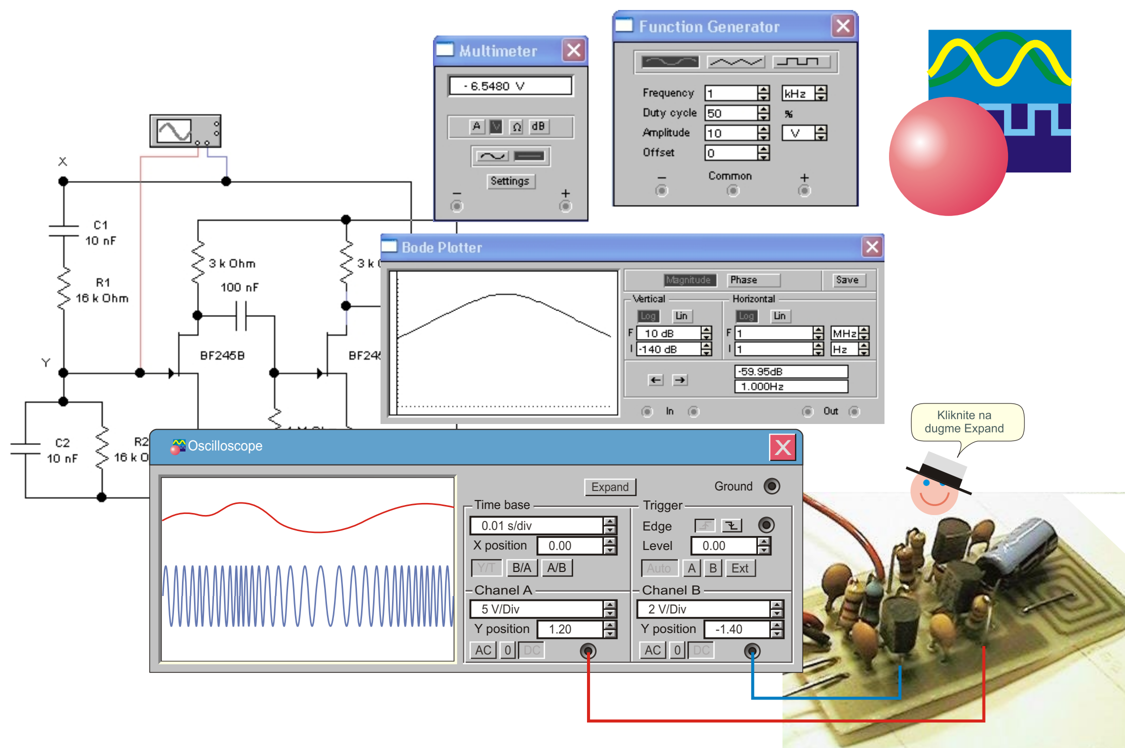
Slika 7.23. Izrada tampane pločice: a - nagrizanje u sonoj kiselini uz dodavanje oksižena, b - gotova pločica

Nagrizanje je završeno kada na pločici nema više bakra koji nije bio zaštićen bojom. Podignite štapićem jedan kraj pločice, sačekajte da se tečnost ocedi, uhvatite pločicu štipaljkom za veš i dobro je operite u tekućoj vodi. Boja se skida trljanjem, pomoću već pominjane loptice od vlažne krpe zamočene u neki prašak. Na pločici će se pojaviti bakarne stopice i linije.

e. Ako ste pri crtanju vodili računa da u centru svake stopice ostane ostrvce nepokriveno bojom, posle nagrizanja u centru svake stopice će biti malo udubljenje. Kroz ta udubljenja, koja "vode" burgiju, treba izbušiti rupice prečnika 1 mm. (Znatno je bolje ako su rupice prečnika 0,8 mm, pa i manjeg, jer se tada nožice komponenata lakše i lepše leme,ali se burgije ovog prečnika teže nabavljaju, a mnogo lakše lome). Pri bušenju, ispod pločice treba svakako podmetnuti komad deblje šper ploče ili komad ravne daske od nekog tvrdog drveta (bukovina, hrastovina), a ne komad stiropora ili nešto slično. Ne pritiskajte bušilicu suviše jako, jer će burgija na drugoj strani pločice da odvaljuje male komade.

Lomljenje je mnogo puzdanije, bez opasnosti da ploča pukne ukrivo, ako se kanal ureže sa obe strane.



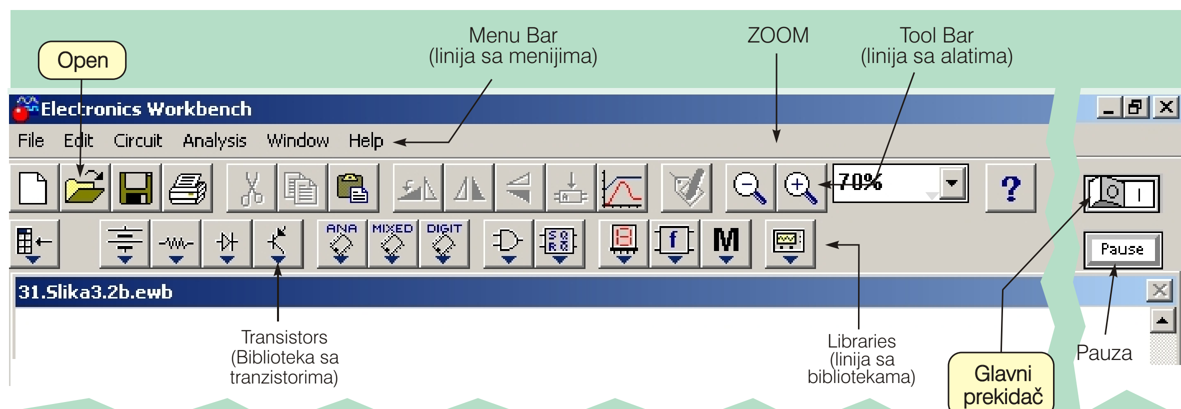


Electronics Workbench (Radni sto za elektroniku, u daljem tekstu EWB) je program za analizu rada različitih električnih i elektronskih kola, koji korisnicima omogućuje da, pre nego što se upuste u nabavku komponenata i praktičnu realizaciju nekog uređaja, izvrše kompjutersku analizu rada tog uređaja i provere da li su njegove karakteristike onakve kakve se očekuju prema prethodnom proračunu i, ako je potrebno, izvrše korekcije električne šeme i vrednosti upotrebljenih komponenata. Na primer, u slučaju ispravljača, EWB omogućuje da se ispravljač detaljno analizira, da se vide oblici i izmere veličine svih napona i struja, izmeri opseg promene izlaznog napona, uticaj promena mrežnog napona i veličine struje potrošača na veličinu izlaznog napona, menjaju komponente i njhove vrednosti itd. Jednostavno, program omogućuje da se na električnoj šemi ispravljača izvrše sve moguće provere i testovi, uključujući i one koje u stvarnosti ne bi smeli da probate zbog opasnosti od trajnog oštećenja komponenata. Ista stvar je i sa ostalim elektronskim uređajima, audio-pojačavačima, radio-prijemnicima, alarmima itd.

Uz svaku od knjiga *Praktične* ELEKTRONIKE (PE1, PE2, PE3...) idu i folderi PE1-EWB, PE2-EWB, PE3-EWb... u kojima se nalaze simulacije električnih šema iz dotične knjige, rađene u EWB-u. Ovi folderi su u folderu EWB SIMULACIJE - PRIMERI na početnoj strani sajta. Uputstvo za korišćenje EWB-a je u knjizi ELECTRONICS WORKBENCH. Ovo mini uputstvo je namenjeno čitaocima koji nemaju vremena da čitaju uputstvo, a žele da pogledaju PE1-EWB, PE2-EWB, PE3-EWB...

Program Electronics Workbench možete da skinete sa Interneta, sa nekog od sajtova koji nude Free Download. Jedan od njih, aktivan u vreme pisanja ovog teksta, je ovaj ispod. Kliknite na:
`http://oprekzone.com/download-ewb-electronic-workbench-5-12-free/`

Dakle, pokrenite program i na upozorenje *Culd not open file* kliknite na dugme *OK*. Na ekranu je slika X. To je virtuelni laboratorijski radni sto na kome se crtaju i analiziraju električne šeme elektronskih uređaja. Zapravo, to je gornji deo stola u kome su linija (polica) sa menijima, linija sa alatima i linija sa bibliotekama.



Kliknite na svaki od menija i proučite šta je "na jelovniku". Stavite vrh kursora na svaku od ikona u liniji sa alatima, sačekajte da se pojavi ime biblioteke pa kliknite i pogledajte šta je u njoj.

Kliknite na ikonu *Open.* Na ekranu se pojavljuje prozor Open Circuit File. Kliknite na Drives i pronađite gde se nalaze folderi PE1-EWB, PE2-EWB, PE3-EWb... . Otvorite folder koji vas interesuje i kliknite dva puta brzo na fajl koji želite da otvorite. Ako, recimo, tako postupite i u PE3-EWB dva puta kliknete na fajl "01.Jednostrani 1.ewb", na ekranu će se pojaviti električna šema jednostranog usmerača. Ako je slika zbrkana, uhvatite za gornji deo prozor Description i pomerite ga na neko zgodno mesto. Isto učinite i sa osciloskopom i, ako je potrebno, sa šemon, tako da dobijete lepu, preglednu sliku. Ako je suviše sitno, zumirajte. Prvo postupite po upustvu u prozoru *Description,* a onda probajte sve šta vas interesuje. Kad završite, ponovo kliknite na ikonu Open pa dva puta na fajl "02.Jednostrani 2.ewb" itd.

Autor savetuje čitaoce da, dok čitaju knjigu (PE1, PE2, PE3...), imaju pred sobom na ekranu monitora šemu o kojoj je reč u knjizi i da postupe po uputstvu iz prozora Description, ali i da probaju sve drugo što im padne na pamet u vezi sa tom šemom.

Ako ste nešto menjali na slici i to što ste napravili želite da sačuvate, kliknite na *File*, pa na *Save As*..., dajte novo ime i snimite ga gde želite. Ako to ne želite, na pitanje *Save changes* . . . kliknite na *No*.

Najčešće korišćeni postupci pri analizi kola iz foldera PEX-EWB su:

* Početak analize - kliknite na glavni prekidač. Zaustavljanje - kliknite na *Pause*.

* Proširenje slike osciloskopa - kliknite na dugme *Expand* na slici osciloskopa. Smanjenje slike - kliknite na dugme *Reduce*.

* Promena vrednosti komponenata (otpornosti, kapacitivnosti, napona izvora itd.) - kliknite dva puta na komponentu pa na dugme *Value*.

* Pomeranje klizača potenciometra - pritisnite na tastaturi na dugme na kome je slovo koje se u nazivu potenciometra nalazi u uglastim zagradama. Pomeranje u suprotnom smeru se ostvaruje tako što se prstom leve ruke pritisne dugme *Shift* a prstom druge ruke dugme u uglastim zagradama.

* Pomeranje komponenata - stavite kursor na komponentu, pritisnete levo dugme, pomerite komponentu i otpustite dugme.

* Brisanje - kliknete na ono što treba obrisati pa pritisnete dugme *Del* na tastaturi.

* Dovodjenje instrumenata na ekran - kliknite na ikonu biblioteke *Instruments,* stavite kursor na željeni instrument, pritisnite desno dugme na mišu, pomerite instrument gde želite i otpustite dugme.

* Povezivanje komponenta - stavite vrh kursora na kraj priključka komponente, tako da se pojavi mali crni krug, pritisnete levo dugme i pomerite vrh kursora do vrha druge komponente, tako da se i tu pojavi mali crni krug, i otpustite dugme.

* Povezivanje komponente sa već nacrtanim provodnikom - stavite vrh kursora na kraj priključka komponente, tako da se pojavi mali crni krug, pomerite vrh kursora na provodnik, tako da se i tu pojavi mali krug, i otpustite dugme.

* Opis komponenete - kliknete na komponentu pa na dugme sa znakom pitanja u *Tool Bar*-u.

* Okretanje komponente - kliknete na komponentu pa na dugme *Rotate*, *Flip Vertical* ili *Flip Horizontal* u *Tool Bar*-u.

* Zaustavljanje analize i posmatranje napona na osciloskopu - kliknete na dugme *Pause* (ispod glavnog prekidača) pa na dugme *Expand* (na osciloskopu) i pomerite sliku.

* Merenje napona osciloskopom - pomerite kursor 1 na vreme koje vas interesuje i pročitajte veličinu napona u prozoru "Napon"

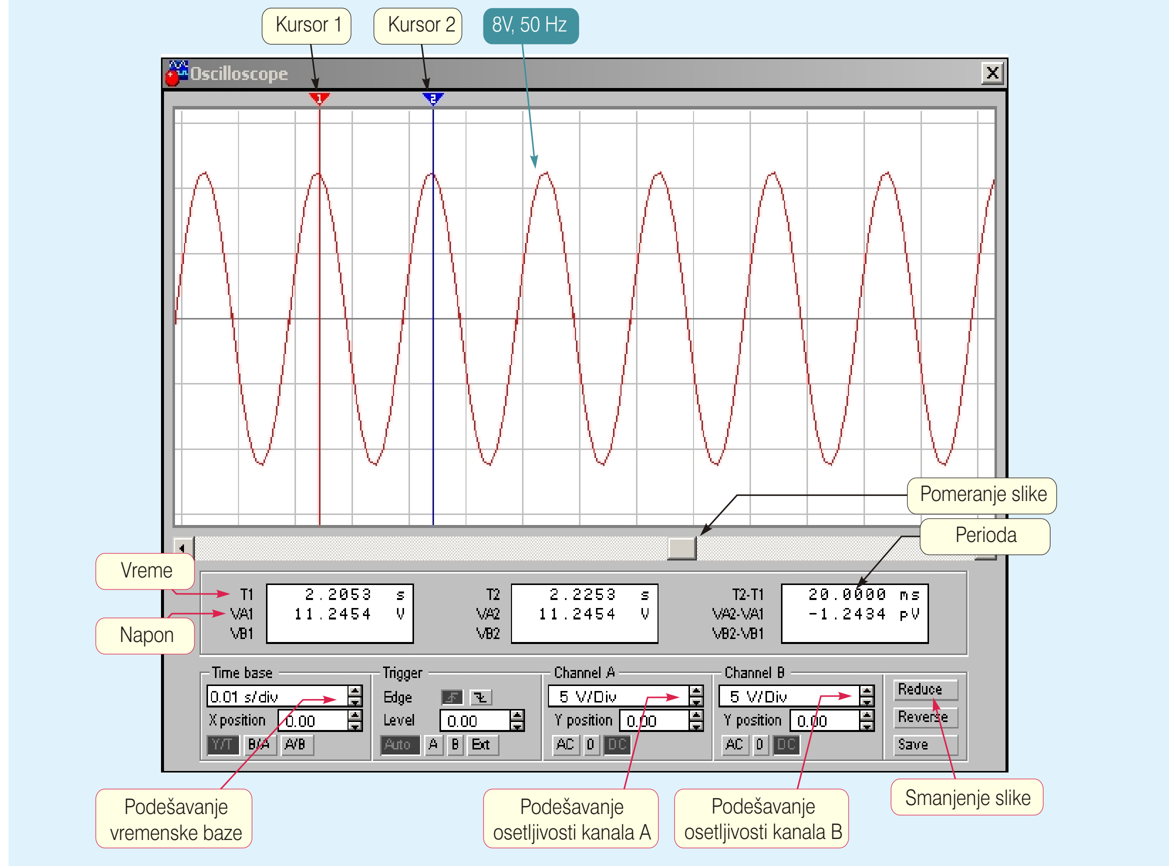
* Merenje učestanosti - podesite kursor 1 na neki maksimum napona, podesite kursor 2 na sledeći maksimum i u prozoru "Perioda" pročitate periodu T. Učestanost se izračuna po obrascu $f = 1/T$.

* Posmatranje talasnog oblika struje osciloskopom - u granu kroz koju teče struja ubacite *I/U* pretvarač (*Current-Contolled Voltage Source* iz biblioteke *Sources*) a na njegov izlaz priključite osciloskop. Napon na izlazu *I/U* pretvarača je istog oblika kao struja.

* Zatvaranje prozora *Description* - kliknite na X u gornjem desnom uglu. Otvaranje - pritisnite istovremeno dirke *Ctrl* i *D*.

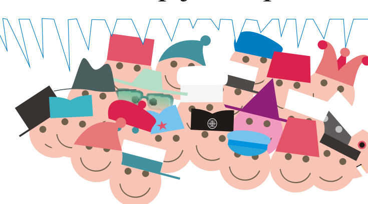
* Zatvaranje programa - kliknite na *File* u *Menu Bar*-u pa na *Exit*.

* Upoznavanje sa osciloskopom. U PE1-EWB\Otpornici otvorite fajl "00. Osciloskop.ewb", kliknite na glavni prekidač pa na dugme *Pause*, pa na dugme *Expand* (na osciloskopu). Isprobajte sve što može da se uradi prema oznakama na slici XX.



Slika XX. Proširena slika EWB-ovog osciloskopqa

Ако сте имали неке користи од ове књиге, помозите одржавање и даљи напредак овог сајта. Донирајте колико можете. Погледајте "Ако, како донирати" на почетној страни.

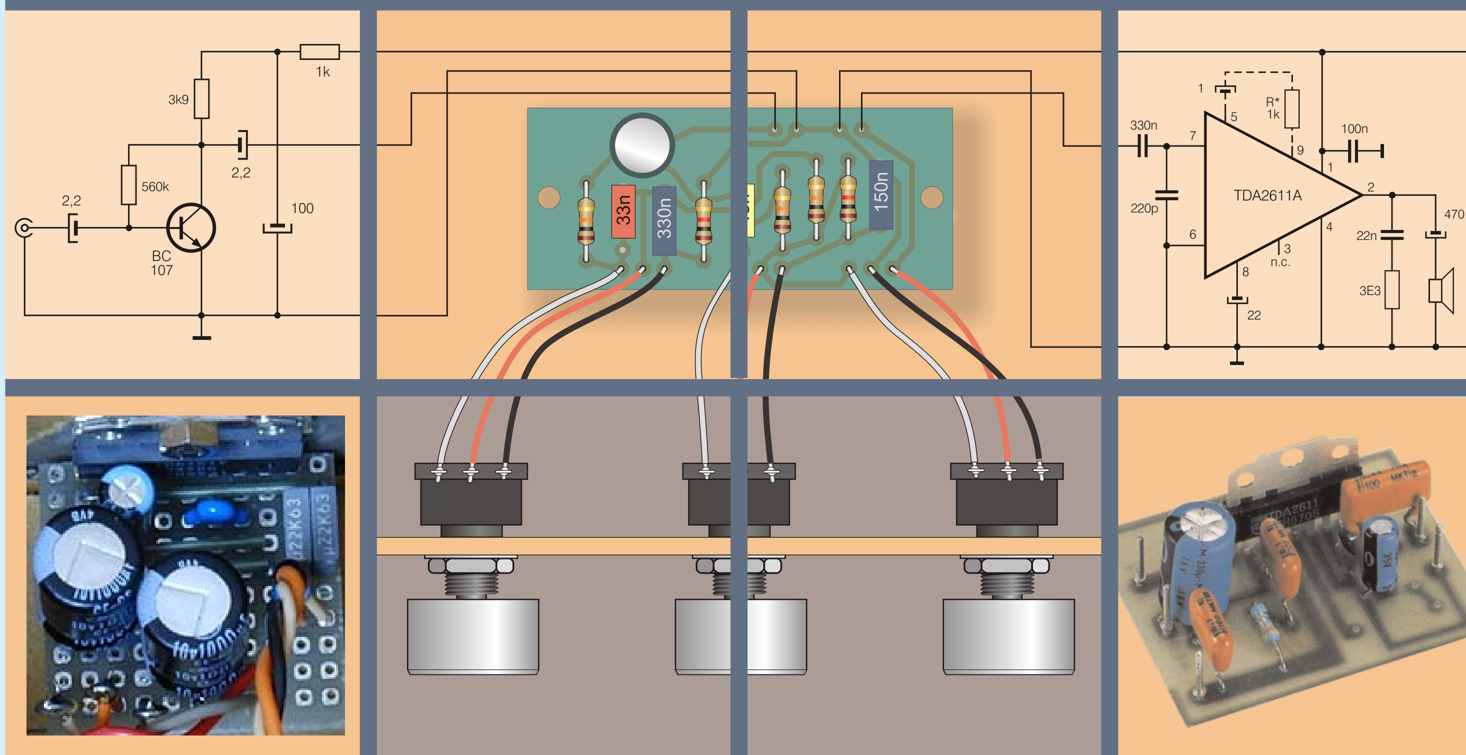


Praktična
ELEKTRONIKA 4

Filipović D. Miomir

AUDIO-POJAČAVAČI

za ozvučavanja, CD plejere, MP3 plejere, vokmene, radio-prijemnike, kasetofone
i sve slične uređaje kod kojih treba ostvariti glasnu reprodukciju preko zvučnika

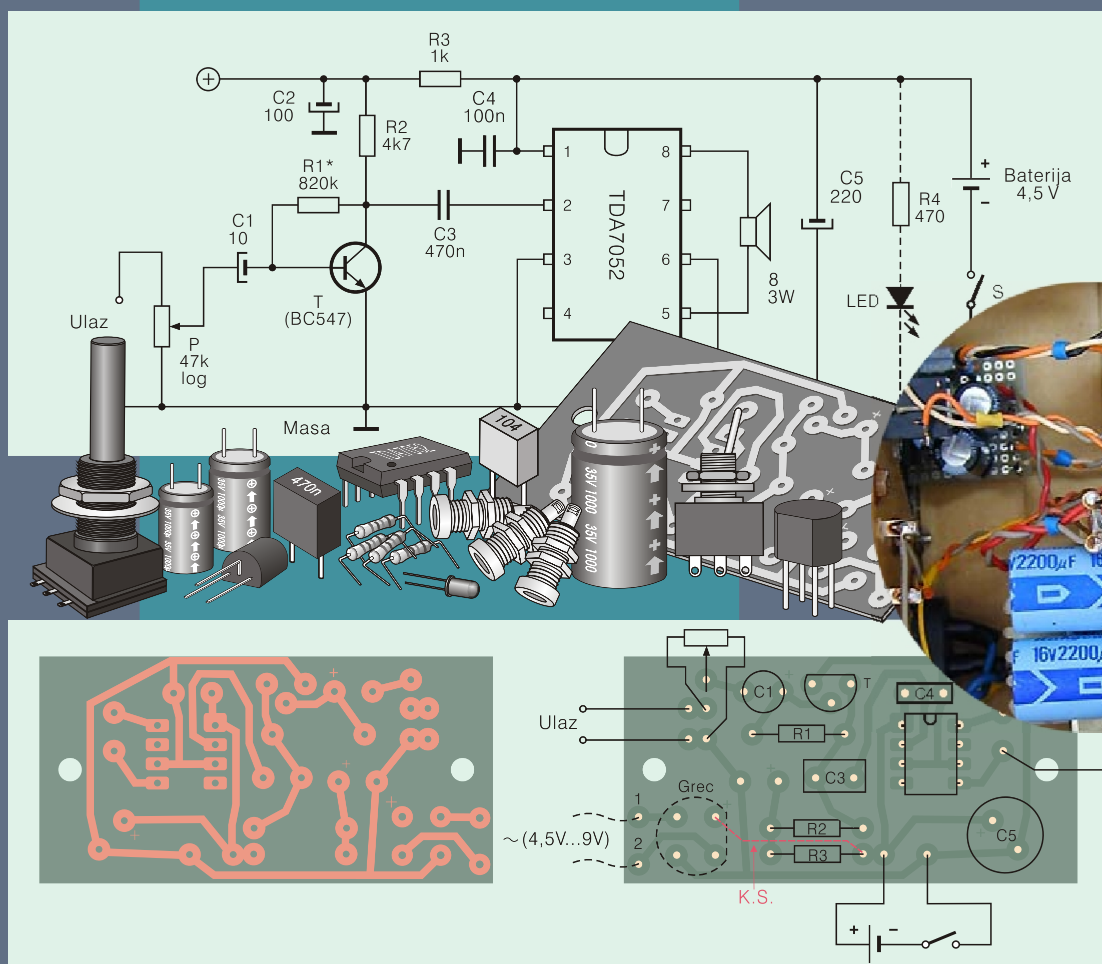


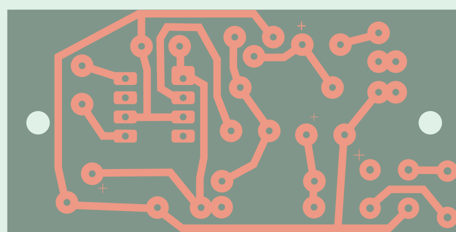
Karakteristike zvuka i audio-pojačavača, blok šeme, električne šeme i štampana kola pretpojačavača, mikseta, kola za regulaciju jačine i boje tona, pojačavača snage, snage, ispravljači za audio-pojačavače, primeri praktične realizacije, povezivanje zvučnika, provera, puštanje u rad, dodaci . . .

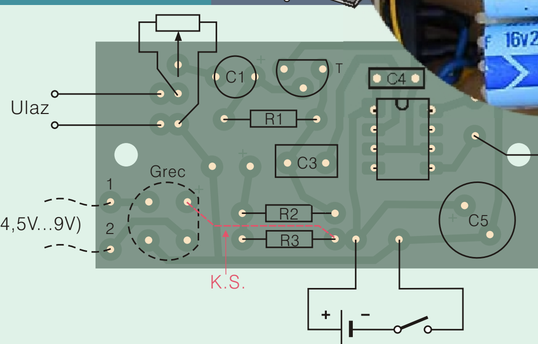
Prednja korica štampane verzije AUDIO-POJAČAVAČA

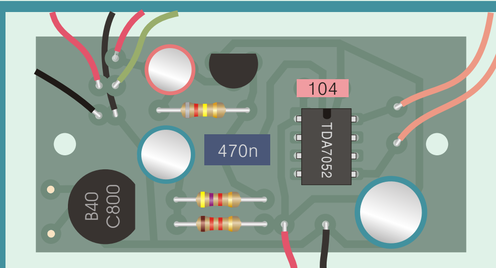


Serija knjiga "Praktična ELEKTRONIKA" je namenjena svima koji žele da sami, svojim rukama, naprave ispravljač, audio-pojačavač, radio-prijemnik, radio-predajnik, alarm i mnoge druge elektronske uređaje. Knjiga koju držite je četvrta iz serije, a posvećena je praktičnoj realizaciji audio-pojačavača.









Zadnja korica štampane verzije AUDIO-POJAČAVAČA



Pogledajte VIDEO klipove
u vezi sa ovom knjigom.

4. *P*E4 - Audio-pojačavači

PE4a - EWB - Složeni signal
https://youtu.be/mayRd8gNLFk

PE4b / EWB - Najjednostavniji predpojačavač 1
https://youtu.be/AZHAXjaLJko

PE4c - Najjednostavniji predpojačavač 2
https://youtu.be/nZggCcehqj0

PE4d - Pojačavač snage sa LM86
https://youtu.be/iOayaJsLrsY